การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ กรณีศึกษาบริษัทหล่อหลอมโลหะ

DEFECTS REDUCTION IN ENGINE BRACKET STEERING PARTS PRODUCTION PROCESS: A CASE STUDY OF METAL CASTING COMPANY

วัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ กรณีศึกษาบริษัทหล่อหลอมโลหะ

วัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์กรณีศึกษาบริษัทหล่อหลอมโลหะ Defects Reduction in Engine Bracket Steering Parts Production Process: A Case Study of Metal Casting Company
ชื่อ – นามสกุล	นายวัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.
ปีการศึกษา	2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ประจวบ กล่อมจิตร, D.Eng.)

..... กรรมการ
(อาจารย์ปรกช สิริสุวัณณ์, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)
วันที่ 18 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ กรณีศึกษาบริษัทหล่อหลอมโลหะ
ชื่อ - นามสกุล นายวัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, วศ.ด.
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ของบริษัทกรณีศึกษาที่ทำการผลิตชิ้นงานเหล็กหล่อและอลูมิเนียมหล่อโดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแผนการผลิตระยะยาวแบบต่อเนื่อง และเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัทที่อยู่ในช่วงการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระดับการผลิตปริมาณมาก โดยเป้าหมายของบริษัทต้องการลดของเสียลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 20

การดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากทำการเก็บและศึกษาข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 เป็นเวลา 6 เดือน ตามด้วยการจำแนกและคัดเลือกประเภทของเสียที่จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยหลักการของพาเรโต จากนั้นประยุกต์ใช้เทคนิค Why-Why analysis ร่วมกับเทคนิค 3 GEN เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาหลัก และดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ 1) ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ 2) ควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก 3) ปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่ 4) กำหนดจำนวนแม่พิมพ์ต่อรอบการเทน้ำเหล็กให้เหมาะสม 5) กำหนดเวลามาตรฐานของการผสมทรายแบบ

ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าอัตราส่วนของเสียลดลงเป็นไปตามเป้าหมายคือ อัตราส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH ลดลงจากร้อยละ 41.45 เหลือร้อยละ 28.21 หรือลดลงร้อยละ 31.94 และอัตราส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering RH ลดลงจากร้อยละ 42.17 เหลือร้อยละ 19.84 หรือลดลงร้อยละ 52.95

คำสำคัญ : ลดของเสีย แท่นยึดเครื่องยนต์ หล่อหลอมโลหะ

Thesis Title	Defects Reduction in Engine Bracket Steering Parts Production Process: A Case Study of Metal Casting Company
Name - Surname	Mr. Vatcharoot Chevaviriyanon
Program	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Rapee Kanchana, D.Eng.
Academic Year	2021

ABSTRACT

This research aimed to reduce the defects in engine bracket steering parts production process in the studied company that produced particular Steering LH and Steering RH steel and aluminum casting parts. The specific group of products were set to have a continuous long-term production and being the new products that were at the stage of improvement before mass production. The target of the company was to reduce at least 20% of defection.

The research methodology began with collecting and studying 6-month historical data of defects in production process from October 2019 to March 2020. The following process was classifying and selecting types of the defects to be solved based on Pareto Principle. After that, the integration of Why-Why analysis and 3 GEN techniques were applied to investigate root causes of the main problem and to improve the production process. The production processes were to: 1) modify the position of the workpiece in the mold, 2) control the speed of pouring iron water, 3) modify the new letter position, 4) determine an appropriate number of molds per iron water pouring cycle, and 5) determine the standard time of sand mixing.

The results of the improvement in the process illustrated that the defect rate was reduced at the expected rate. The defection rate of Steering LH decreased from 41.45% to 28.21% which equaled to 31.94% of reduction. The defection rate of Steering RH decreased from 42.17% to 19.84% which equaled to 52.95% of reduction.

Keywords: defect reduction, engine bracket steering parts, metal casting

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน ที่ให้ความรู้จนสามารถนำความรู้มาใช้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่สนับสนุนข้อมูลในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณบิดา มารดา และขอขอบคุณผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกท่าน

คุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

วัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (4)
กิตติกรรมประกาศ (5)
สารบัญ (6)
สารบัญตาราง (8)
สารบัญภาพ (9)
บทที่ 1 บทนำ 12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 12
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 15
1.4 ขั้นตอนการวิจัย 15
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 16
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
2.1 การหล่อโลหะ 17
2.2 แบบหล่อทรายชื้น 24
2.3 จุดบกพร่องของงานหล่อ 26
2.4 เครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุ 41
2.5 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง 51
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 54
2.7 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 56
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 58
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 61
3.1 ศึกษากระบวนการผลิตของบริษัท 61
3.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH 64
3.3 วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น และหาสาเหตุของปัญหา 69
3.4 การเลือกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโต 71
3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen 76
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 81
4.1 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงาน 81
4.2 การเทน้ำเหล็กด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ 84
4.3 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่ 85

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การกำหนดจำนวนแม่พิมพ์ต่อรอบเทน้ำเหล็ก 86
4.5 การกำหนดเวลามาตรฐานการผสมทรายแบบ 88
4.6 การติดตามผล 91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 95
5.1 สรุปผลการวิจัย 95
5.2 การอภิปรายผลการวิจัย 97
5.3 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย 98
บรรณานุกรม 99
ภาคผนวก 102
ภาคผนวก ก ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 103
ประวัติผู้เขียน 115

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลมูลค่าของเสียและมูลค่าการขาย ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 14
ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตชิ้นงานหล่อทั่วโลกระหว่างปีพ.ศ. 2552-2554 (หน่วยเป็นตัน) 20
ตารางที่ 2.2 ปริมาณการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะและโรงงานหล่อของประเทศต่างๆ ปีพ.ศ.2554 21
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างข้อมูลของประชากรจำนวน k ชุด 56
ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว 56
ตารางที่ 3.1 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH 67
ตารางที่ 3.2 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH 68
ตารางที่ 3.3 การจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering LH 71
ตารางที่ 3.4 การจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering RH 71
ตารางที่ 3.5 สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาทั้ง 5 ประเภท 80
ตารางที่ 3.6 แนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น 80
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการเทน้ำโลหะของแต่ละลำดับของแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส) 86
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมทรายแบบและสัดส่วนของเสีย 88
ตารางที่ 4.3 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง 93
ตารางที่ 4.4 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH หลังปรับปรุง 94
ตารางที่ 5.1 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH 96
ตารางที่ 5.2 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering RH 96

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ 13
ภาพที่ 1.2 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH 14
ภาพที่ 1.3 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH 15
ภาพที่ 2.1 งานหล่อแกนต่างหู 17
ภาพที่ 2.2 โครงเครื่องจักรที่หล่อจากเหล็กกล้า 18
ภาพที่ 2.3 งานหล่อฝาครอบไดชาร์จ 18
ภาพที่ 2.4 ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนมาผลิตด้วยกระบวนการหล่อ 22
ภาพที่ 2.5 ชิ้นส่วนที่ใช้ในรถบรรทุกพาลเล็ตที่เปลี่ยนมาผลิตด้วยกระบวนการหล่อ 22
ภาพที่ 2.6 แผนภาพการไหลของกระบวนการหล่อ 23
ภาพที่ 2.7 ลักษณะรูที่เกิดจากเศษทรายฝังอยู่ในผิวงานหล่อ 27
ภาพที่ 2.8 ลักษณะของงานหล่อที่เกิดจากการวางแบบหล่อไม่ตรงกัน 27
ภาพที่ 2.9 ลักษณะของการวางไส้แบบไม่สมดุล 28
ภาพที่ 2.10 ลักษณะจุดบกพร่องของการวิ่งไม่เต็มแบบ 29
ภาพที่ 2.11 ลักษณะจุดบกพร่องของการเย็นตัวก่อนไหลเต็มแบบ 29
ภาพที่ 2.12 ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่เทโลหะไม่ต่อเนื่อง 30
ภาพที่ 2.13 ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่เกิดจากแบบหล่อรั่ว 31
ภาพที่ 2.14 ลักษณะจุดบกพร่องจากแก๊ส 32
ภาพที่ 2.15 ลักษณะจุดบกพร่องจากสแลกหรือตะกรัน และโลหะออกไซด์ 32
ภาพที่ 2.16 ลักษณะของจุดบกพร่องจากทรายตก 33
ภาพที่ 2.17 ลักษณะจุดบกพร่องจากการกัดเซาะ 34
ภาพที่ 2.18 ลำดับขั้นการเกิดทรายขยายตัวอยู่ในแบบหล่อส่วนบน 35
ภาพที่ 2.19 ชิ้นงานหล่อที่เกิดจุดบกพร่องการขยายตัว 35
ภาพที่ 2.20 ลำดับขั้นการเกิดทรายขยายตัวอยู่ในแบบหล่อส่วนล่าง 36
ภาพที่ 2.21 ชิ้นงานหล่อที่เกิดจุดบกพร่องแบบหางหนู 36
ภาพที่ 2.22 ลักษณะโพรงจากการหดตัว 37
ภาพที่ 2.23 ลักษณะโลหะแทรกซึมเข้าผิวแบบหล่อ 38
ภาพที่ 2.24 ลักษณะชิ้นงานโป่ง 38
ภาพที่ 2.25 การฉีกขาดบริเวณจุดร้อน 39
ภาพที่ 2.26 การบิดงอของชิ้นงานอะลูมิเนียมที่รื้อแบบหล่อเร็วเกินไป 40
ภาพที่ 2.27 ชิ้นงานหล่อแตกหัก 40
ภาพที่ 2.28 จุดบกพร่องจากการหลอมละลายในชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทา 41
ภาพที่ 2.29 เทคนิควิเคราะห์หาสาเหตุด้วยคำถาม ทำไม ทำไม 43

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 2.30 แผนภูมิต้นไม้ 43
ภาพที่ 2.31 แบบฟอร์มการปรับปรุงไคเซ็น 46
ภาพที่ 2.32 การเปรียบเทียบการปรับปรุงไคเซ็น และนวัตกรรม 46
ภาพที่ 2.33 แบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุด 48
ภาพที่ 2.34 แผนปฏิบัติการ 50
ภาพที่ 2.35 กราฟแท่ง 52
ภาพที่ 2.36 กราฟเส้น 52
ภาพที่ 2.37 กราฟวงกลม 53
ภาพที่ 2.38 กราฟเข็มขัด 53
ภาพที่ 2.39 ตัวอย่างการแสดงผลของโปรแกรม Minitab 57
ภาพที่ 2.40 กราฟ Residual Plots for Defect rate 58
ภาพที่ 3.1 แผนกวิศวกรรม 62
ภาพที่ 3.2 แผนกแม่พิมพ์ 63
ภาพที่ 3.3 แผนกไส้แบบ 63
ภาพที่ 3.4 แผนกหลอมโลหะ 64
ภาพที่ 3.5 แผนกตกแต่งชิ้นงาน 64
ภาพที่ 3.6 ผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH 65
ภาพที่ 3.7 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH 65
ภาพที่ 3.8 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH 66
ภาพที่ 3.9 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH 67
ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 70
ภาพที่ 3.11 แผนภูมิพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering LH 72
ภาพที่ 3.12 แผนภูมิพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering RH 73
ภาพที่ 3.13 ลักษณะของเสียประเภทชิ้นงานไม่เต็มแบบ 74
ภาพที่ 3.14 ลักษณะของเสียประเภทชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา 74
ภาพที่ 3.15 ลักษณะของเสียประเภทชิ้นงานผิดรูป 75
ภาพที่ 3.16 ลักษณะของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบ 75
ภาพที่ 3.17 ลักษณะของเสียประเภทตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์ 76
ภาพที่ 3.18 กิจกรรมกลุ่มย่อยตามหลักการของ KAIZEN 77
ภาพที่ 3.19 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen 78
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering LH ในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง 82

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering RH ในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง 82
ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering LH ในแม่พิมพ์หลังปรับปรุง 83
ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering RH ในแม่พิมพ์หลังปรับปรุง 83
ภาพที่ 4.5 การเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์โดยพนักงาน 84
ภาพที่ 4.6 เครื่องเทน้ำเหล็กแบบอัตโนมัติ 84
ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ Steering LH 85
ภาพที่ 4.8 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ Steering RH 85
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่พิมพ์และอุณหภูมิน้ำโลหะ 87
ภาพที่ 4.10 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมทรายแบบและสัดส่วนของเสีย ประเภทผิวงานไม่เรียบ 89
ภาพที่ 4.11 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของข้อมูล 90
ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว 90
ภาพที่ 4.13 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง 91
ภาพที่ 4.14 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH หลังปรับปรุง 92
ภาพที่ 4.15 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง 92
ภาพที่ 4.16 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH หลังปรับปรุง 93
ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH ก่อนและ หลังการปรับปรุง 96
ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering RH ก่อนและ หลังการปรับปรุง 97

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมหล่อโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีวิวัฒนาการมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและถือเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำในการผลิตวัตถุดิบส่งต่อไปยังอุตสาหกรรมอื่น อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องประดับ และอุตสาหกรรมอื่นอีกมากมาย ทำให้อุตสาหกรรมหล่อโลหะมีความสำคัญในการเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นในหลายห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) [1] การหล่อโลหะ (Casting) เป็นการขึ้นรูปโลหะประเภทหนึ่ง โดยการนำโลหะมาหลอมเหลว แล้วเทหรือฉีดเข้าสู่แบบหล่อ (Mold) หรือแม่พิมพ์ (Die) เมื่อปล่อยให้น้ำโลหะแข็งตัวจะได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ และนำชิ้นงานมาตกแต่งจึงจะได้ชิ้นงานสำเร็จที่จะนำไปใช้งานต่อไป [2] การหล่อโลหะทำได้หลายวิธี อาทิ การหล่อฉีด (Die Casting) การหล่ออัด (Squeeze Casting) การหล่อทราย (Sand Casting) การหล่อแม่พิมพ์เหล็กแบบเท (Permanent Mold Casting) การอัดรีด (Extrusion) [3] [4]

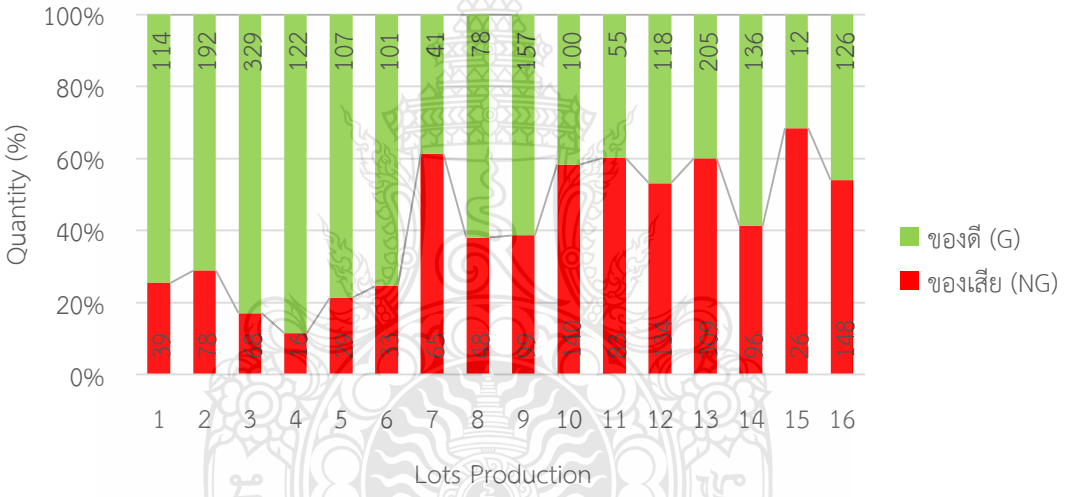
บริษัทกรณีศึกษาประกอบธุรกิจผลิตชิ้นงานเหล็กหล่อ (Steel Casting Parts) และอลูมิเนียมหล่อ (Aluminum Casting Parts) ให้กับหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนงานเหล็กหล่อและอลูมิเนียมหล่อ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ตามภาพที่ 1.1 ด้วยวัตถุดิบหลากหลายคุณสมบัติตามคุณสมบัติของชิ้นงานที่ลูกค้าต้องการ อาทิ เหล็กหล่อเทา (Gray Cast Iron) เหล็กหล่อเหนียว (Nodular Cast Iron) เหล็กหล่อผสม (Alloy Cast Iron) อลูมิเนียมอัลลอย (Aluminium Alloy Ingot) เกรดที่หลากหลาย อาทิ FC250 FC300 FCD450 FCD500 FCD550 FCD600 FCD700 FCD Hi Si-Mo AC2B-T6 T31 กระบวนการผลิตของบริษัทประกอบด้วย 5 ส่วนงานหลักคือ แผนกวิศวกรรม (Engineering) ทำหน้าที่ออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบไส้แบบ และกำหนดขั้นตอนการผลิตให้กับแผนกผลิต แผนกแม่พิมพ์ (Molding) ทำหน้าที่ผลิตแบบทรายสำหรับสร้างแม่พิมพ์ แผนกไส้แบบ (Core Marking) ทำหน้าที่ผลิตไส้แบบของแม่พิมพ์ แผนกหลอมโลหะ (Melting) ทำหน้าที่หลอมเหล็กหรืออลูมิเนียมให้เป็นน้ำเหล็กหรืออลูมิเนียม และแผนกตกแต่งชิ้นงาน (Finishing) ทำหน้าที่เจียรตกแต่งชิ้นงานและเก็บชิ้นงานหลังจากการหล่อ

ภาพที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์

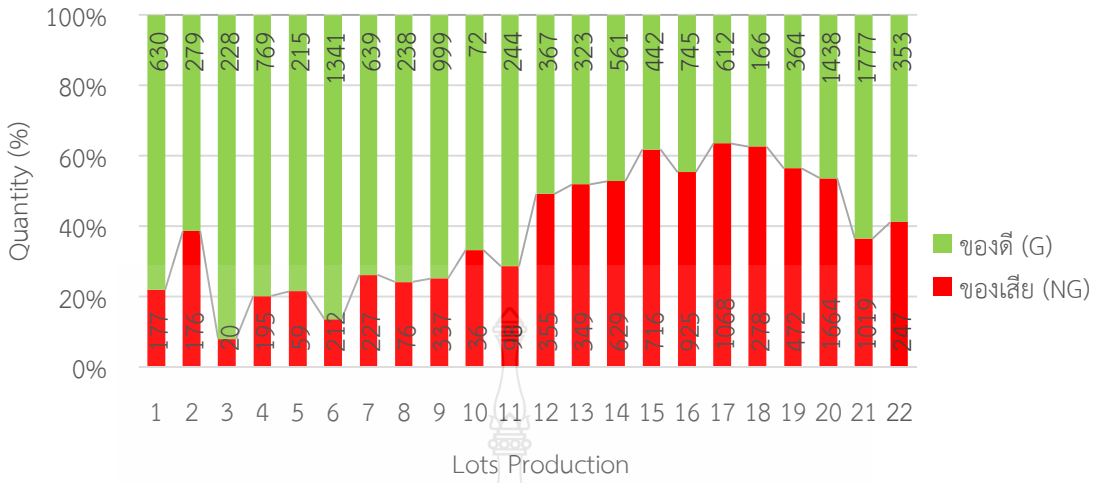
บริษัทกรณีศึกษากำหนดดัชนีชี้วัดผลงานในกระบวนการผลิต (Key Performance Indicator) คือ สัดส่วนมูลค่าของเสียเทียบกับมูลค่าการขายไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อทำการเก็บข้อมูลมูลค่าของเสียและข้อมูลมูลค่าการขาย 6 เดือนคือ ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2563 พบว่าสัดส่วนมูลค่าของเสียเทียบกับมูลค่าการขายมากกว่าร้อยละ 5 ตามตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตไม่สามารถควบคุมคุณภาพการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายของบริษัทได้ โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาปัญหาในกระบวนการผลิตที่ส่งผลทำให้เกิดของเสียต่อผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH และหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแผนการผลิตระยะยาวแบบต่อเนื่อง และเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัทที่อยู่ในช่วงการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระดับการผลิตปริมาณมาก เมื่อทำการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 พบว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH ทำการผลิตจำนวน 3,404 ชิ้น จาก 16 ล็อตการผลิต และตรวจพบของเสียจากกระบวนการผลิตจำนวน 1,411 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 41.45 ตามภาพที่ 1.2 และผลิตภัณฑ์ Steering RH ทำการผลิตจำนวน 22,137 ชิ้น จาก 22 ล็อตการผลิต และตรวจพบของเสียจากกระบวนการผลิตจำนวน 9,335 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 42.17 ตามภาพที่ 1.3

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลมูลค่าของเสียและมูลค่าการขาย ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563

เดือน	มูลค่าของเสีย (บาท)	มูลค่าการขาย (บาท)	สัดส่วนมูลค่าของเสีย (%)
ตุลาคม	4,171,868.25	23,945,065.75	17.42
พฤศจิกายน	2,588,931.50	18,144,624.25	14.27
ธันวาคม	3,246,508.25	13,869,075.00	23.41
มกราคม	3,776,031.25	21,499,220.00	17.56
กุมภาพันธ์	2,861,068.00	20,150,698.50	14.20
มีนาคม	2,543,375.50	28,070,752.00	9.06
เฉลี่ย	3,197,963.79	20,946,572.58	15.27



ภาพที่ 1.2 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH



ภาพที่ 1.3 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH

1.2.2 เพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 จากสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและแยกประเภทของเสียจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563

1.3.2 นำหลักการพาเรโตมาคัดเลือกประเภทของเสียสะสมที่ร้อยละ 80 เพื่อทำการศึกษาหาสาเหตุที่ส่งผลทำให้เกิดของเสีย และหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH

1.3.3 เก็บข้อมูลปริมาณของเสียหลังการปรับปรุงเป็นเวลา 4 เดือน ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 เพื่อสรุปผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

1.3.4 วิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะเลือกแนวทางในการปรับปรุงที่ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการดำเนินงานในการผลิต

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหล่อโลหะ เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการสำหรับการปรับปรุง และลดของเสียในกระบวนการผลิต

1.4.2 ศึกษากระบวนการหล่อโลหะในปัจจุบัน

1.4.3 วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น และหาสาเหตุของปัญหา

1.4.4 วิเคราะห์ และกำหนดแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิต

1.4.5 ติดตาม และสรุปผลแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิต

1.4.6 เสนอผลงานต่อคณะกรรมการวิทยานิพนธ์

1.4.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ของบริษัทกรณีศึกษา

1.5.2 ทำให้ของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ลดลง

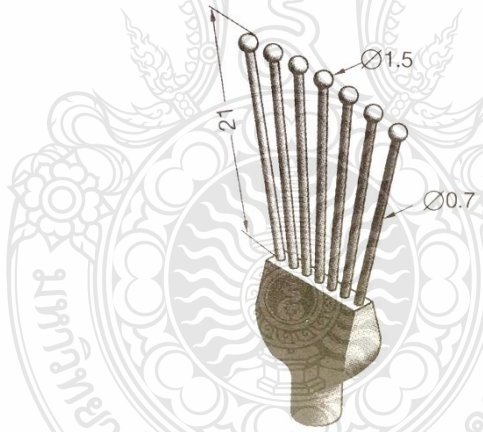
1.5.3 ทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น

1.5.4 เพื่อเป็นแนวทางให้บริษัทกรณีศึกษานำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น

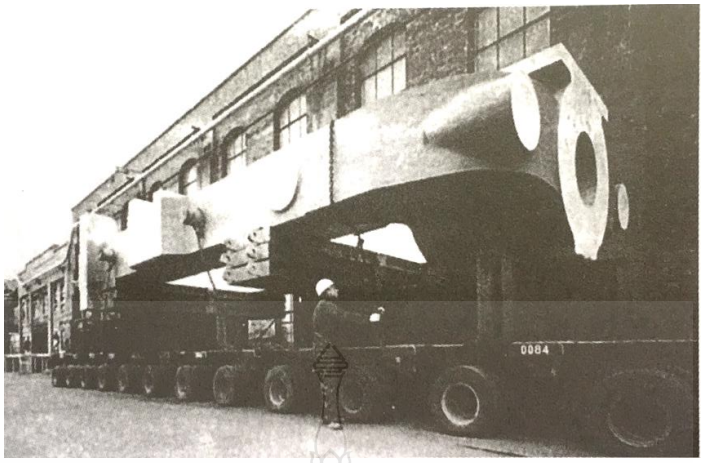
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหล่อโลหะ

การหล่อโลหะ (Casting of Metals) เป็นกระบวนการสร้างชิ้นงานโลหะโดยการแข็งตัวในแบบหล่อ รูปร่างของชิ้นงานโลหะจะเป็นไปตามรูปร่างของโพรงแบบหล่อ กระบวนการหล่อ (Casting Process) เป็นวิธีการหลอมเหลวโลหะ และเทลงโพรงแบบหล่อ โดยโพรงแบบหล่อจะมีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับขนาดจริงของชิ้นงานโลหะที่ต้องการ กระบวนการหล่อมักใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อนตั้งแต่ชิ้นงานขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ตามภาพที่ 2.1 – 2.2 โลหะที่ใช้ในกระบวนการหล่อมีหลากหลาย อาทิ เหล็กกล้า เหล็กหล่อ อลูมิเนียมผสม ทองแดงผสม แมกนีเซียมผสม และสังกะสีผสม ชิ้นงานโลหะที่มีใช้ทั้งหมดในภาคอุตสาหกรรมมากกว่าร้อยละ 90 ถูกขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อ และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมรถไฟ อุตสาหกรรมการเดินเรือ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมอากาศยาน อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมป่าไม้ อุตสาหกรรมพลังงาน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า แม้กระทั่งอุตสาหกรรมทางการเกษตร [5]



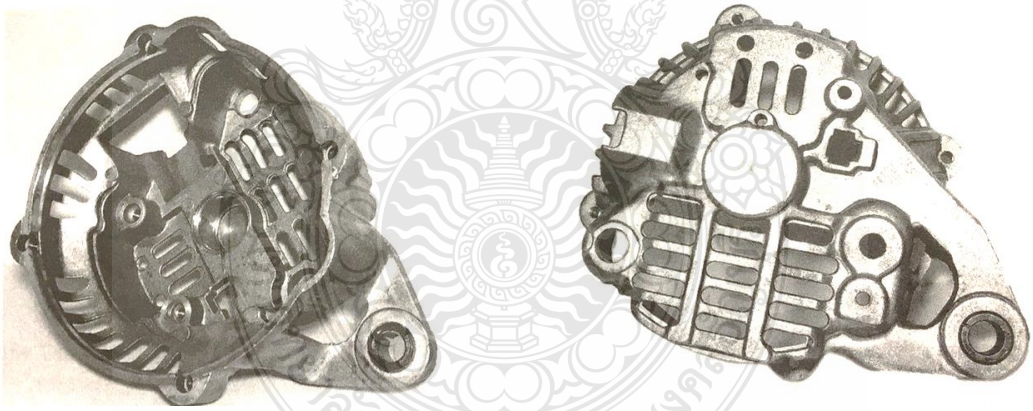
ภาพที่ 2.1 งานหล่อแกนต่างหู [5]



ภาพที่ 2.2 โครงเครื่องจักรที่หล่อจากเหล็กกล้า [5]

2.1.1 ข้อดีของกระบวนการหล่อโลหะ (Advantages of Casting Process)

1) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนทั้งภายในและภายนอกได้ด้วยกระบวนการผลิตเดียว อาทิ การหล่ออลูมิเนียมผสมของฝาครอบไดชาร์จรถยนต์ ที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนทั้งภายในและภายนอกของชิ้นงานตามภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 งานหล่อฝาครอบไดชาร์จรถยนต์ [5]

2) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานโลหะบางชนิดที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการขึ้นรูปร้อนหรือเย็น กระบวนการรีด การตี หรือการตัดได้ แต่ต้องขึ้นรูปโดยกระบวนการหล่อเท่านั้น อาทิ เหล็กหล่อชนิดต่างๆ ซึ่งกระบวนการหล่อจะทำให้โลหะมีสมบัติทางโลหวิทยาที่เหมาะสม รวมถึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการอื่น

3) สามารถลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานให้ต่ำลงสำหรับการผลิตที่มีปริมาณมาก โดยเฉพาะกับชิ้นงานที่มีส่วนประกอบซับซ้อน อาทิ เครื่องยนต์ของรถยนต์ ที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนทั้งภายในและภายนอก แม้ว่าสามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการตัดแต่งโดยเครื่องจักรกลซีเอ็นซีได้ แต่เนื่องจากเวลาการผลิตที่สูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย

4) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ หรือชิ้นงานที่มีน้ำหนักมากได้ ภายใต้ต้นทุนการผลิตชิ้นงานที่ต่ำ อาทิ โครงเครื่องจักรขนาดใหญ่ งานหล่อพระพุทธรูปขนาดใหญ่

5) สามารถตอบสนองสมบัติทางวิศวกรรมบางอย่างได้ อาทิ ความสามารถในการรับแรงสั่นสะเทือน ความสามารถในการตัดเฉือน ที่ต้องการความสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน เนื่องจากการหล่อโลหะทำให้โลหะมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งต่างจากกระบวนการขึ้นรูปอื่น อาทิ กระบวนการเชื่อม

6) เทคโนโลยีทางด้านการหล่อที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อาทิ สามารถหล่อโลหะที่มีความบางมากได้ อาทิ การหล่อผนังบาง ทำให้สามารถลดน้ำหนักของชิ้นงานหล่อลงได้อย่างมาก

2.1.2 ประวัติของการหล่อโลหะ (History of Casting of Metals)

การหล่อโลหะเป็นกระบวนการผลิตที่เก่าแก่ที่สุดอุตสาหกรรมหนึ่ง เป็นกระบวนการผลิตโลหะที่มีเมื่อ 5,000 ปีก่อนคริสต์ศักราช โดยเป็นการหล่อโลหะทองแดงด้วยแบบหล่อหินแบบปิด อาทิ การหล่อขวาน โดยการหล่อโลหะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จากการหล่อโดยแบบหล่อหินที่แบบหล่อมีเพียงด้านเดียว ได้มีการพัฒนามาเป็นแบบหล่อแบบปิดที่มีแบบหล่อ 2 ด้าน คือทั้งด้านบนและด้านล่าง ตลอดจนการพัฒนาไส้แบบทำให้เกิดรูในชิ้นงานหล่อ กระบวนการหล่อที่พัฒนามาโดยตลอดจนถึงปัจจุบันคือ การหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) หรือการหล่อประณีต ปัจจุบันนิยมใช้ในการหล่อพระพุทธรูป เครื่องประดับ รูปปั้น งานศิลปะ และประติมากรรม ตลอดจนอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร อาทิ การหล่อใบพัดเทอร์ไบน์ โดยเป็นชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดของผิวงานหล่อ ช่วงปลายของยุคชิ้นงานหล่อบรอนซ์และพิวเตอร์ (Pewter) มีการหล่อโลหะสำหรับทำเครื่องตกแต่งภายในโบสถ์ และบริเวณสถานที่สาธารณะต่างๆ แม้กระทั่งการหล่อปืนใหญ่ สำหรับการทำสงคราม การหล่อโลหะก็มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยการนำหีบหล่อและทรายหล่อเข้ามาใช้ในกระบวนการหล่อโลหะ การศึกษาและพัฒนาวิธีการปรับปรุงโครงสร้างของเหล็กหล่อ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเหล็กหล่อขาว เหล็กหล่อสีเทา และเหล็กหล่อมอตเทิล (Mottle Iron) การพัฒนาวัสดุสำหรับงานวิศวกรรม จนกระทั่งปี พ.ศ. 2252 มีการหลอมโลหะ โดยใช้ถ่านโค้กในเตาบลาสต์เฟอร์เนซ (Blast Furnace) ทำให้การผลิตเหล็กหล่อออกมาใช้ในงานโครงสร้างมีมากขึ้น ส่งผลต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม จนกระทั่งปี พ.ศ. 2399 ต้นทุนการผลิตเหล็กกล้ามีราคาถูกลง เนื่องจากกระบวนการของเบสเซเมอร์ (Bessemer) ทำให้การใช้งานเหล็กกล้าเกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย

การพัฒนาอุตสาหกรรมการหล่อโลหะในอนาคต ต้องการตอบสนองสำหรับการผลิตในปริมาณมาก รวมถึงความหลากหลายของชิ้นงานหล่อ จากความต้องการดังกล่าว ทำให้ต้องมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัย เทคนิคการทำงานพิเศษ ข้อมูลการผลิตที่ถูกบันทึก การดำเนินงานทางวิศวกรรมถูกนำมาพัฒนาการหล่อโลหะอย่างต่อเนื่อง อาทิ โปรแกรมจำลองการหล่อ (Casting Simulation) เพื่อค้นหาสภาวะการหล่อที่ทำให้งานหล่อมีความสมบูรณ์ ปราศจากจุดบกพร่องมากที่สุด การมีห้องปฏิบัติการทางโลหวิทยาที่ทันสมัย ทำให้สามารถตรวจสอบสมบัติของวัสดุทุกชนิดได้ตั้งแต่ก่อนเริ่มทำการหลอม จนกระทั่งในระหว่างการหลอม และภายหลังการหลอม การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีที่แม่นยำ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อด้วยวิธีและเครื่องมือที่มีมาตรฐาน วิธีการทำงานที่สามารถควบคุมกระบวนการทั้งหมดตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีดังกล่าว ทำให้อุตสาหกรรมการหล่อโลหะสามารถลดปริมาณการใช้แรงงานได้เป็นอย่างมาก โดยการนำเครื่องจักรอัตโนมัติเข้ามาแทนที่แรงงานคน รวมถึงการปรับปรุงโรงงานหล่อโลหะที่ทันสมัย การนำหุ่นยนต์เข้ามาทำงานแทนแรงงานคน ทั้งนี้ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มสูงขึ้น การปรับลักษณะของโรงงานหล่อโลหะแบบเดิมที่มีฝุ่นละอองจำนวนมาก ทำให้เกิดความสกปรกในสถานที่ทำงาน ถูกเปลี่ยนมาเป็นโรงงานที่สะอาด และมีการควบคุมมลพิษที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.1.3 อุตสาหกรรมการหล่อ (Foundry Industry)

ข้อมูลการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะในอุตสาหกรรมโลกปี พ.ศ. 2552-2554 พบว่าปริมาณการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยโลหะที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดคือ เหล็กหล่อสีเทาที่มีการผลิตมาถึง 45,870 ตัน ในปี พ.ศ. 2554 ตามตารางที่ 2.1 ทั้งนี้เป็นผลมาจากเหล็กหล่อสีเทาไม่หมาะกับกระบวนการขึ้นรูปอื่น และคาดว่ายอดการผลิตจะสูงอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศที่มีการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะมากที่สุดคือ ประเทศจีน ลำดับถัดมาคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา และอินเดียตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตชิ้นงานหล่อทั่วโลกระหว่างปี พ.ศ. 2552-2554 [5]

ประเภทของโลหะ	ปริมาณการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะ (ตัน)		
	ปี พ.ศ. 2552	ปี พ.ศ. 2553	ปี พ.ศ. 2554
เหล็กหล่อสีเทา	37,749	43,258	45,870
เหล็กหล่อเหนียว	29,404	23,451	24,782
เหล็กหล่ออบเหนียว	1,013	-	-
เหล็กกล้า	9,070	10,215	10,342
ทองแดงผสม	1,488	1,652	1,799
อะลูมิเนียมผสม	9,477	10,879	11,319
แมกนีเซียมผสม	149	196	181
สังกะสีผสม	470	528	505
ปริมาณการผลิตรวม	88,820	90,179	94,798

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการผลิตชิ้นงานหล่อโลหะและโรงงานหล่อของแต่ละประเทศปี พ.ศ. 2554 [5]

ประเทศ	ชิ้นงานหล่อโลหะ (ตัน)	จำนวนโรงงานหล่อโลหะ (โรงงาน)
จีน	41.30	30,000
สหรัฐอเมริกา	10.33	2,040
อินเดีย	9.99	4,500
เยอรมนี	5.47	612
ญี่ปุ่น	4.76	1,612
รัสเซีย	4.20	1,350
บราซิล	3.34	1,325
เกาหลี	2.34	890
อิตาลี	2.21	1,111
ฝรั่งเศส	2.05	441

เทคโนโลยีที่ทันสมัยใหม่ถูกนำมาพัฒนาสำหรับกระบวนการหล่อโลหะ ประกอบไปด้วย

1) โปรแกรมจำลองการหล่อ เพื่อช่วยให้สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

2) กระบวนการหล่อสุญญากาศ และแรงดันสูง เพื่อช่วยให้ชิ้นงานหล่อมีสมบัติดีขึ้น

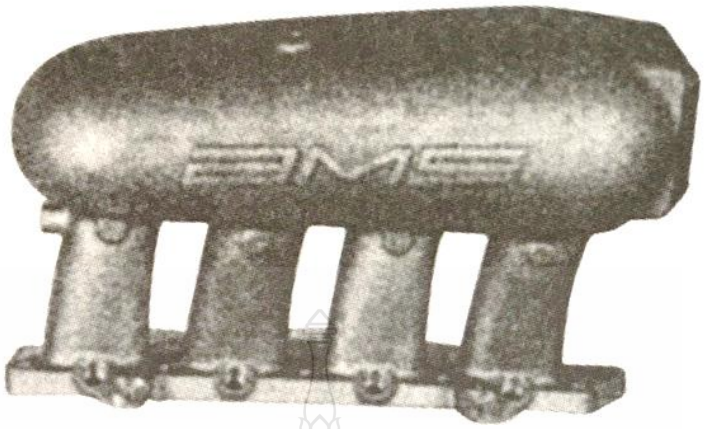
3) การเทน้ำโลหะด้วยระบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพงานหล่อ

4) เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype) เพื่อช่วยลดเวลาและการใช้เครื่องมือในการผลิตแม่พิมพ์มากขึ้น

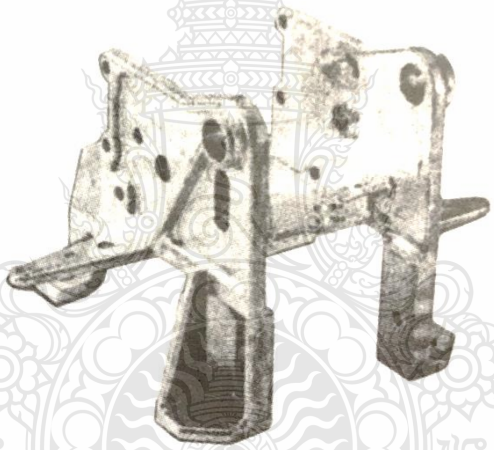
5) ระบบการเจียระไนอัตโนมัติ ช่วยให้สามารถเพิ่มผลผลิตและลดค่าใช้จ่าย

6) การหล่อโลหะผสมแมทริกซ์โลหะ (Metal-matrix Composite) รวมถึงการหล่อชิ้นงานอนุภาคนาโน (Nano Particle Casting)

เทคโนโลยีการหล่อที่ทันสมัยสามารถช่วยให้สามารถหล่อชิ้นงานรูปแบบเดิมได้ โดยไม่ต้องผลิตด้วยกระบวนการอื่น อาทิ ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ที่เดิมใช้กระบวนการเชื่อมในการผลิต แล้วเปลี่ยนมาเป็นการผลิตด้วยกระบวนการหล่ออลูมิเนียมเกรด A356 ด้วยแบบหล่อทรายชื้นตามภาพที่ 2.4 หรือชิ้นส่วนรถบรรทุกพาลเล็ต (Pallet Tuck) ที่เดิมใช้กระบวนการเชื่อมในการผลิต แล้วเปลี่ยนมาเป็นการผลิตด้วยกระบวนการหล่อทองเหลืองด้วยแบบหล่อถาวรตามภาพที่ 2.5 การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตมาเป็นกระบวนการหล่อ สามารถลดน้ำหนักชิ้นงานลงได้ร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับการผลิตโดยกระบวนการเดิม



ภาพที่ 2.4 ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนมาผลิตด้วยกระบวนการหล่อ [5]

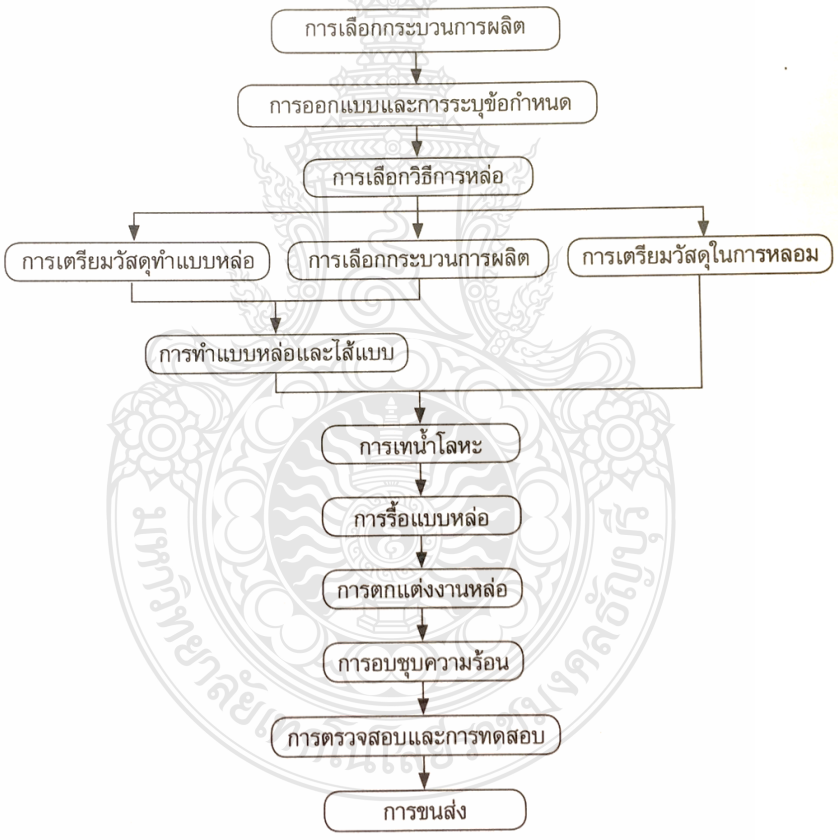


ภาพที่ 2.5 ชิ้นส่วนรถบรรทุกพาลเล็ตที่เปลี่ยนมาผลิตด้วยกระบวนการหล่อ [5]

2.1.4 แผนภาพการไหลของกระบวนการหล่อ (Flow Diagram of Foundry Process)

กระบวนการหล่อเป็นกระบวนการทำงานที่มีขั้นตอนมากมาย และกระบวนการทำงานมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป อาทิ การหล่อดายคาสติง (Die Casting) การหล่อเหวี่ยง (Centrifugal Casting) การหล่ออินเวสต์เมนต์ (Investment Casting) แต่กระบวนการทำงานก็มีลักษณะเดียวกับการหล่อแบบดั้งเดิมคือ การหล่อด้วยแบบหล่อทราย (Sand Mold Casting) โดยมีขั้นตอนตามภาพที่ 2.6 คือ เริ่มต้นการผลิตชิ้นงานโดยการเลือกกระบวนการผลิต (Process Selection) เพราะอุตสาหกรรมการผลิตมีกระบวนการผลิตที่หลกหลาย อาทิ การตี การรีด การตัด การพับ การดึง การเลือกกระบวนการขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน การใช้งาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการผลิต หลังจากเลือกกระบวนการผลิตแล้ว ก็ทำการออกแบบโดยสอดคล้องกับข้อกำหนด (Design and

Speciation) ต่อจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการเลือกวิธีการหล่อ (Determination of Casting Technique) เมื่อเลือกวิธีการหล่อแล้วก็เข้าสู่กระบวนการหล่อ โดยสามารถแบ่งงานออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ การเตรียมวัสดุทำแบบหล่อ (Molding Material Preparation) การทำกระสวน (Pattern Making) และการเตรียมวัสดุในการหลอม (Furnace Charge Preparation) ต่อจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการทำแบบหล่อและไส้แบบ (Molding and Core Marking) โดยในส่วนงานการเตรียมวัสดุในการหลอมเมื่อพร้อมแล้วก็เข้าสู่ขั้นตอนการหลอมโลหะ (Metal Melting) หลังจากที่แบบหล่อสำเร็จพร้อมประกอบไส้แบบ จะเข้าสู่ขั้นตอนการนำน้ำโลหะมาเทลงแบบหล่อ (Pin) และรอน้ำโลหะแข็งตัว ลำดับถัดไปคือขั้นตอนการรื้อแบบ (Shakeout) และทำการตัดระบบทางเข้ากับรูล้นออก แล้วทำการตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย (Finishing) ถ้าชิ้นงานหล่อต้องการให้มีโครงสร้างจุลภาคที่สม่ำเสมอจะต้องมีการอบชุบความร้อนก่อน (Heat Treatment) แล้วจึงทำการตรวจสอบและทดสอบ (Inspection and Testing) ว่าตรงตามข้อกำหนดหรือไม่ หลังจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ การขนส่งให้ลูกค้าหรือผู้สั่งซื้อต่อไป



ภาพที่ 2.6 แผนภาพการไหลของกระบวนการหล่อ [5]

2.2 แบบหล่อทรายชื้น

แบบหล่อทรายชื้น (Green Sand Mold) เป็นแบบหล่อทรายที่นิยมใช้ เนื่องจากความสะดวกการปั้นแบบ และการรื้อแบบ ประกอบกับต้นทุนของวัสดุแบบที่มีราคาต่ำ และเป็นกระบวนการทำแบบหล่อที่มีการใช้มาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการหล่อเหล็กหล่อสีเทา วัสดุในการทำแบบหล่อทรายชื้นประกอบไปด้วยเม็ดทรายที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุทนไฟ ผสมรวมกับตัวประสานที่เป็นดินเหนียว และมีน้ำผสมเข้าไปเป็นตัวช่วยให้ดินเหนียวจับยึดเม็ดทรายได้ดีขึ้น

เม็ดทรายที่ใช้ทำแบบหล่อสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ทรายธรรมชาติ (Natural Sand) และทรายสังเคราะห์ (Synthetic Sand) ทรายธรรมชาติเป็นทรายได้จากแม่น้ำหรือทะเล แต่เนื่องจากเป็นทรายจากธรรมชาติ จึงทำให้บางครั้งส่วนผสมของตัวประสานนั้นควบคุมได้ยาก เพราะมักมีสิ่งเจือปนมาจากสภาพแวดล้อม ส่วนทรายสังเคราะห์มีการผ่านกรรมวิธีการผลิตที่สามารถควบคุมขนาดของเม็ดทราย ตลอดจนความสะอาดได้เป็นอย่างดี ทำให้เมื่อนำมาใช้เป็นทรายแบบหล่อจึงสามารถกำหนดส่วนผสมของตัวประสานได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นทรายสังเคราะห์จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ทำแบบหล่อทรายมากกว่าทรายธรรมชาติ โดยลักษณะรูปทรงของเม็ดทรายจะมีอยู่หลายแบบ ทั้งแบบเม็ดกลม (Round Sand Grains) เม็ดมุมแหลม (Angular Sand Grains) เม็ดผสม (Compound Sand Grains) และเม็ดมุมมน (Sub Angular Sand Grains) ลักษณะรูปทรงและความละเอียดของเม็ดทรายจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อสมบัติของทรายแบบหล่อ หากเม็ดทรายมีความโตสม่ำเสมอหรือมีเม็ดขนาดใหญ่ปริมาณมาก ความโปร่งอากาศของแบบหล่อจะมีสูงเพราะช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมีมาก ในขณะที่หากเม็ดทรายมีความละเอียดมาก หรือเม็ดทรายขนาดใหญ่มีการผสมของเม็ดทรายขนาดเล็กละเอียดปริมาณมาก ทรายที่ละเอียดจะเข้าไปแทรกอยู่ตามซอกมุมของเม็ดขนาดใหญ่ ทำให้ความโปร่งอากาศต่ำลง ดังนั้นทรายที่เหมาะสำหรับทำแบบหล่อคือ ทรายเม็ดกลม เพราะเป็นทรายที่ให้ความแข็งแรงดี ใช้ตัวประสานน้อย มีความโปร่งอากาศสูง และสามารถไหลเข้าตามซอกมุมของแบบหล่อได้ดี แต่โดยทั่วไปแล้วทรายชนิดนี้มักมีราคาสูง ทรายที่นำมาใช้โดยมากจะต้องมีการรวมกันอยู่หลายขนาดจึงจะใช้งานได้ดี ทรายที่นิยมใช้ในการนำมาทำแบบหล่อมากที่สุดคือ ทรายซิลิกา (Silica Sand) หรือทรายแก้ว แต่ในอุตสาหกรรมการหล่อยังมีทรายอีกหลายชนิด เช่น ทรายเซอร์คอน ทรายโอลิวีน ทรายโครไมต์

ตัวประสาน (Binders) ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวเม็ดทรายให้ติดกัน เพราะเม็ดทรายเพียงอย่างเดียวไม่สามารถยึดเหนี่ยวติดกันและทำแบบหล่อได้ แบบหล่อทรายที่ใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานคือ แบบหล่อทรายชื้น โดยต้องทำการผสมน้ำเข้าไปเพื่อช่วยให้ดินเหนียวทำหน้าที่ในการยึดเหนี่ยวเม็ดทรายให้ติดกันได้ โดยธรรมชาติแล้วดินเหนียวจะมีองค์ประกอบของไฮเดรตซิลิเกตอะลูมินา (Hydrate Silicate Alumina) สำหรับดินเหนียวที่นิยมใช้คือ ดินเบนโทไนต์ (Bentonite) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า มอนต์โมริลโลไนต์ (Montmo-rillonite) ดินเหนียวชนิดนี้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ที่ดี รวมถึงมีความสามารถในการขยายตัว (Swelling) ได้มาก ทำให้มีความเหนียวสูงเหมาะสำหรับผสมทรายทำแบบหล่อ ดินเหนียวเบนโทไนต์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ โซเดียมเบนโทไนต์ (Sodium Bentonite) กับแคลเซียมเบนโทไนต์ (Calcium Bentonite) โดยโซเดียมเบนโทไนต์มีความสามารถในการขยายตัวได้สูงและให้ความแข็งแรงสภาพแห้งได้ดี ในขณะที่ดินเหนียวแคลเซียมเบนโทไนต์ ให้ความแข็งแรงขณะชื้นดี

การยึดเหนี่ยวของดินเหนียว (Bonding Action of Clay) แบบหล่อทรายชื้น ประกอบไปด้วย เม็ดทราย ดินเหนียว และน้ำ เมื่อทำการผสมน้ำเข้าไปแล้ว จะทำให้ดินเนียวมีสมบัติทางด้านความเหนียวสามารถยึดเหนี่ยวได้ทั้งดินเหนียวด้วยกันเอง และยึดเหนี่ยวเม็ดทรายได้ กลไกการยึดเหนี่ยวระหว่างดินเหนียวและเม็ดทรายมีหลายทฤษฎี ดังนี้ การยึดเหนี่ยวโดยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Bonding) การยึดเหนี่ยวโดยความตึงผิว (Bonding by Surface Tension Forces) การยึดเหนี่ยวโดยความเสียดทานระหว่างอนุภาค (Interparticle Friction Bond) [5]

สารเติมพิเศษ (Special Additives) เพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างที่ทำให้คุณภาพของแบบหล่อดีขึ้น สารเติมพิเศษเหล่านี้ประกอบไปด้วย

1) ซีเรียล (Cereal) เป็นสารที่ทำจากแป้งข้าวโพด หรือข้าวสาลี ช่วยเพิ่มสมบัติทางด้านความแข็งแรงสภาพชื้นและสภาพแห้ง เพิ่มความสามารถในการยุบตัว เพราะจะเผาไหม้ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 260-370 °C ส่วนผสมที่ใช้อยู่ระหว่าง 0.25-2.0%

2) กราวด์พิตช์ (Ground Pitch) เป็นผงที่ได้จากการเผาถ่านหินเพื่อทำถ่านโค้ก กราวด์พิตช์จะแยกตัวออกมาจากถ่านหินขณะเผาที่อุณหภูมิประมาณ 180 °C ผงกราวด์พิตช์จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงสภาพร้อน และเพิ่มความเรียบของผิวแบบหล่อ การใช้งานจะผสมไม่เกิน 2.0%

3) ซีโคล (Sea Coal) เป็นผงถ่านหินที่บดละเอียดอาจมาจากถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous) ผงซีโคลจะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดทรายหลอมละลายติดผิวงานหล่อ ช่วยทำให้ผิวแบบหล่อเรียบ นิยมใช้กับการหล่อเหล็กหล่อทั่วไป รวมถึงการหล่อเหล็กหล่อเหนียว การใช้งานจะอยู่ระหว่าง 2.0-8.0%

4) ผงฝุ่นไม้ (Wood Flour) อาจเป็นผงขี้เลื่อยหรือผงที่ได้จากการขัดผิวไม้ด้วยผ้าทราย ผงฝุ่นไม้ช่วยเพิ่มความสามารถในการคงรูปของแบบหล่อในสภาพร้อน เพิ่มความโปร่งอากาศในแบบหล่อทราย รวมถึงความสามารถในการยุบตัวของแบบหล่อทราย เพราะเมื่อเทน้ำโลหะแล้วผงฝุ่นไม้จะเกิดการเผาไหม้ทำให้ทรายยุบตัวได้ง่าย ปกติจะผสมประมาณ 0.5-2.0%

5) ผงฝุ่นซิลิกา (Silica Flour) เป็นผงฝุ่นที่บดจากทรายซิลิกาที่มีความละเอียดถึง 200 เมช ผงฝุ่นซิลิกาจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงสภาพชื้นและสภาพร้อน ช่วยป้องกันการแทรกตัวของน้ำโลหะเหลวที่ผิวทรายแบบหล่อ ส่วนผสมที่ใช้จะไม่เกิน 35.0%

6) เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide) เป็นผงของเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่บดละเอียดช่วยเพิ่มความแข็งแรงสภาพร้อน ส่วนผสมที่ใช้ไม่เกิน 1.5%

7) เด็กซ์ตริน (Dextrin) เป็นสารที่สกัดจากแป้ง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงสภาพความสามารถในการยุบตัว

8) แกรไฟต์ (Graphite) เป็นผงแกรไฟต์ละเอียด ช่วยให้ผิวงานหล่อเรียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหล่อเหล็กหล่อ ปกติจะใช้ที่ส่วนผสมระหว่าง 0.2-2.0%

9) โมลาสส์ (Molass) เป็นของเหลวที่ได้จากการผลิตน้ำตาล หรือที่เรียกว่ากากน้ำตาล ช่วยเพิ่มความแข็งแรงสภาพแห้ง และช่วยให้แบบหล่อคงรูปได้ดี ส่วนผสมที่ใช้อยู่ระหว่าง 0.5-2.0%

กระบวนการทำแบบหล่อทรายชื้นมีขั้นตอนดังนี้ [5]

1) วางกระสวนส่วนล่างลงในหีบหล่อ

2) ผสมทรายกับดินเหนียวและน้ำให้เข้ากัน แล้วนำมาใส่ลงในหีบหล่อ ตำทรายให้แน่น จากนั้นปาดทรายให้เรียบ

3) พลิกหีบหล่อขึ้นด้านบน จากนั้นวางหีบหล่อชั้นบน วางกระสวนส่วนบนประกบกับกระสวนส่วนล่าง พร้อมกับวางรูเทและรูล้นในตำแหน่งที่กำหนด

4) ใส่ทรายแบบหล่อลงไปในหีบหล่อ ตำทรายแบบให้แน่นแล้วปาดทรายให้เรียบ จากนั้นทำแอ่งรูเทและถอดสลักรูเทออก

5) แยกหีบหล่อชั้นบนและชั้นล่างออกจากกัน แล้วถอดกระสวนออกจากทรายแบบหล่อในหีบชั้นล่าง จากนั้นทำทางวิ่งของน้ำโลหะ

6) ถอดกระสวนออกจากทรายแบบหล่อของหีบหล่อชั้นบน

7) หากชิ้นงานหล่อมีรูหรือโพรงข้างใน ไส้แบบจะถูกวางประกอบเข้าไปในแบบหล่อ ขั้นตอนนี้เสร็จแล้วปิดหีบหล่อบนและล่าง เป็นอันเสร็จขั้นตอนการทำแบบหล่อทรายขึ้น และพร้อมที่จะเทน้ำโลหะได้

8) ภายหลังการเทน้ำโลหะแล้วปล่อยให้น้ำโลหะแข็งตัว และรื้อทรายแบบหล่อออกจะได้ชิ้นงานหล่อที่มีส่วนประกอบของชิ้นงานหล่อ ทางเข้าน้ำโลหะ ไรเซอร์ ทางวิ่ง และรูเท

2.3 จุดบกพร่องของงานหล่อ

จุดบกพร่องของงานหล่อ อาจแบ่งออกเป็นกลุ่มตามช่วงของกระบวนการหล่อคือ จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นก่อนการป้อนเติมน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อ จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นขณะป้อนเติมน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อ และจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายหลังการป้อนเติมน้ำโลหะเข้าสู่แบบหล่อ [5]

2.3.1 จุดบกพร่องเกิดขึ้นก่อนการป้อนเติมแบบหล่อ (Defect Occurred Prior to Mold Filling) ก่อนการเทน้ำโลหะหลอมเหลวสู่โพรงแบบหล่อ อาจมีข้อผิดพลาดหรือสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเศษทรายตกลงสู่โพรงแบบหล่อ การวางแบบหล่อเยื้องกันระหว่างแบบหล่อชั้นบนและแบบหล่อชั้นล่าง กระสวนบิดงอ และการวางไส้แบบไม่สมดุล โดยมีรายละเอียดของสาเหตุและวิธีการป้องกันดังนี้

1) เศษทราย (Sand Inclusions) ขณะทำการปิดแบบหล่อชั้นบนลงสู่ชั้นล่างอาจเกิดการกระทบกันระหว่างแบบหล่อ หรือระหว่างไส้แบบกับบ่าไส้แบบ แล้วทำให้เกิดเศษทรายร่วงอยู่ในโพรงแบบและทำความสะอาดออกไม่หมด เมื่อเทโลหะเหลวเข้าไปในโพรงแบบ เศษทรายจะปะปนกับโลหะเหลวเกิดเป็นเศษทรายฝังในเนื้อหรือผิวของชิ้นงานหล่อ ตามภาพที่ 2.7 ทางแก้ไขอาจทำโดยการทำความสะอาดโพรงแบบหล่อ การทดลองปิดแบบและเปิดขึ้นดูความผิดพลาด รวมถึงใช้ความระมัดระวังในการปิดแบบหล่อ

ภาพที่ 2.7 ลักษณะรูที่เกิดจากเศษทรายฝังอยู่ในผิวงานหล่อ [5]

2) การวางแบบหล่อเยื้องไม่ตรงกัน (Shift) เกิดขึ้นขณะประกบแบบหล่อส่วนบนและส่วนล่างไม่ถูกตำแหน่ง เยื้องไปจากตำแหน่งที่ควรจะเป็น เมื่อเทโลหะเหลวแล้ว ชิ้นงานจะมีลักษณะเยื้องระหว่างรอยต่อ ตามภาพที่ 2.8 การแก้ไขทำได้ตามสาเหตุและมีการตรวจสอบการปิดแบบที่ถูกต้อง

ภาพที่ 2.8 ลักษณะของงานหล่อที่เกิดจากการวางแบบหล่อไม่ตรงกัน [5]

3) กระสวนเกิดการบิดงอ (Deformed Pattern) ปัญหานี้มักเกิดขึ้นกับกระสวนงานหล่อที่ทำจากไม้ ซึ่งสามารถดูดความชื้นจากสภาพแวดล้อมได้ หรือไม้ที่นำมาทำกระสวนมีความชื้นสูง เมื่อใช้ไปได้สักระยะหนึ่งความชื้นระเหยออกไป ทำให้เนื้อไม้เกิดการบิดงอส่งผลให้เสียรูปทรงของชิ้นงานไป การแก้ไขอาจทำได้โดยการเลือกวัสดุทำกระสวนที่เหมาะสม เช่น เลือกไม้ที่มีความแห้งเหมาะสม และเมื่อทำกระสวนเสร็จต้องมีการทาสีเคลือบเพื่อป้องกันความชื้นจากสภาพแวดล้อมภายนอก เป็นต้น

4) การวางไส้แบบไม่สมดุล (Misplaced Core) ลักษณะจุดบกพร่องแบบนี้จะพบว่าความหนาของชิ้นงานจะไม่เท่ากันระหว่างผนังด้านหนึ่งกับอีกด้านหนึ่ง ตามภาพที่ 2.9 โดยเฉพาะชิ้นงานหล่อที่เป็นท่อกลวง สาเหตุเกิดจากการวางไส้แบบระยะไม่สมดุลหรือการวางตำแหน่งไส้แบบไม่ถูกต้อง บ่าไส้แบบไม่เหมาะสมหรือหลวมทำให้ยึดไส้แบบได้ไม่แน่น ทำให้ไส้แบบตกหรือลอยขึ้นเมื่อเทน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบ บางครั้งอาจเกิดจากการใช้หมุดยึดไส้แบบที่ไม่เหมาะสม สำหรับจะแก้ตามสาเหตุที่ทำให้เกิดจุดบกพร่องขึ้น

ภาพที่ 2.9 ลักษณะของการวางไส้แบบไม่สมดุล [5]

2.3.2 จุดบกพร่องเกิดขึ้นขณะป้อนเติมแบบหล่อ (Defects Occurred During Mold Filling) สิ่งที่คาดหวังในการเทน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่อคือ ต้องการให้โลหะหลอมเหลวไหลเต็มทุกส่วนประกอบของแบบหล่อและมีผิวที่เรียบปราศจากรอยตำหนิ แต่ขณะเทน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบหล่ออาจเกิดจุดบกพร่องซึ่งทำให้ชิ้นงานหล่อนั้นมีรูปร่างผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น โดยลักษณะและสาเหตุของรูปร่างผิดพลาดเกิดขึ้นขณะเทมีดังนี้

1) วิ่งไม่เต็มแบบ (Misrun) บางส่วนของงานหล่อจะขาดหายไปเนื่องจากน้ำโลหะไหลเข้าไม่เต็มแบบและเกิดการแข็งตัวก่อน ตามภาพที่ 2.10 โดยมากมักเกิดบริเวณขอบหรือมุม ส่วนที่ขาดหายไปมักมีผิวโค้งมนและเรียบ แต่รูปร่างที่ขาดหายไปจะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน สาเหตุที่ทำให้เกิดอาจมาจากอุณหภูมิของโลหะหลอมเหลวต่ำเกินไป ความสามารถในการไหลของโลหะเหลวไม่ดี การเทน้ำโลหะจากเบ้าเทเร็วเกินไป และโพรงแบบหล่อมีหน้าตัดที่บางมากๆ การแก้ไขทำโดยการเพิ่มอุณหภูมิเท การเพิ่มจำนวนทางเข้าหรือขนาดของทางเข้า หรือวางตำแหน่งทางเข้าที่เหมาะสม

ภาพที่ 2.10 ลักษณะจุดบกพร่องของการวิ่งไม่เต็มแบบ [5]

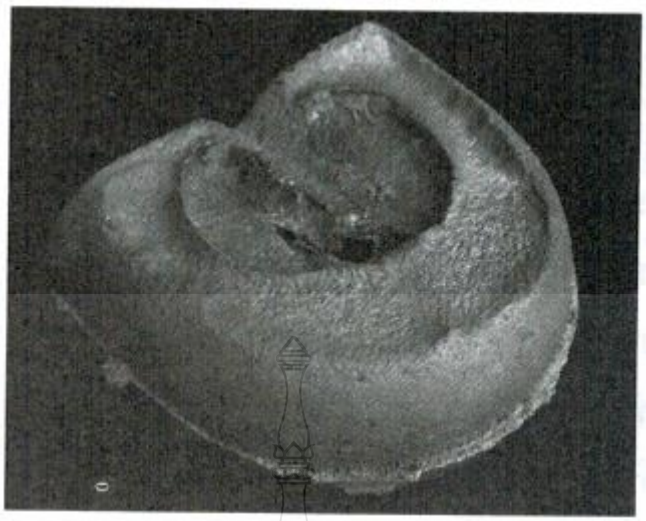
2) เย็นตัวก่อนไหลเต็มแบบ (Cold Shut) เกิดขึ้นจากโลหะหลอมเหลวไหลสู่โพรงแบบหล่อจากทิศทางที่ต่างกันเมื่อมาบรรจบกันที่ปลายสุด ไม่สามารถเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกันได้ ตามภาพที่ 2.11 สำหรับสาเหตุและการป้องกันจะมีลักษณะคล้ายกับการวิ่งไม่เต็มแบบ

ภาพที่ 2.11 ลักษณะจุดบกพร่องของการเย็นตัวก่อนไหลเต็มแบบ [5]

3) การเทโลหะไม่ต่อเนื่อง (Interrupted Pour) ลักษณะของชิ้นงานหล่อจะไม่เชื่อมประสานกัน ตามภาพที่ 2.12 สาเหตุมาจากการเทน้ำโลหะไม่ต่อเนื่อง ทำให้การป้อนเติมโลหะหลอมเหลวขาดช่วง ส่งผลให้เกิดการแข็งตัว เมื่อเทโลหะตามเข้ามาอีกทำให้เนื้อไม่ประสานกัน การแก้ไขทำโดยการเตรียมปริมาณโลหะเหลวให้เพียงพอกับขนาดของชิ้นงานหล่อเพื่อการเทที่ต่อเนื่อง

ภาพที่ 2.12 ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่เทโลหะไม่ต่อเนื่อง [5]

4) แบบหล่อรั่ว (Run Out) ลักษณะของชิ้นงานหล่อจะไม่เต็มรูปร่างที่สมบูรณ์ ตามภาพที่ 2.13 เนื่องมาจากโลหะหลอมเหลวไหลออกมาเพราะแบบหล่อรั่ว สาเหตุมาจากการปิดแบบหล่อส่วนบนและส่วนล่างไม่สนิท หรือเกิดจากการยึดแบบหล่อส่วนบนและส่วนล่างไม่แน่น หรือเกิดจากการวางน้ำหนักทับแบบหล่อน้อยเกินไป แรงดันน้ำโลหะที่มีมากจึงดันแบบหล่อส่วนบนลอยขึ้น ส่งผลให้โลหะเหลวรั่วออกมาได้ บางครั้งอาจเกิดจากทรายแบบหล่อไม่แข็งแรงพอจึงเกิดการแตกร้าว สำหรับวิธีการแก้ไขให้แก้ตามสาเหตุ

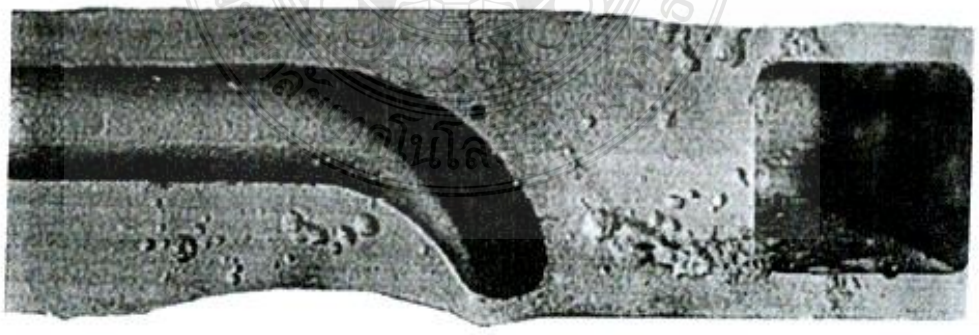


ภาพที่ 2.13 ลักษณะของชิ้นงานหล่อที่เกิดจากแบบหล่อรั่ว [5]

5) จุดบกพร่องจากแก๊ส (Gas Defects) จุดบกพร่องที่เกิดจากแก๊สจะทำให้ชิ้นงานหล่อเกิดรูพรุนหรือโพรงอากาศ ซึ่งอาจมีลักษณะรูปทรงกลม แบน หรือยืดออกเป็นร่องยาว สาเหตุหลักมาจากแรงดันของแก๊สที่ดันเข้าไปในเนื้อโลหะขณะเกิดการแข็งตัว รูพรุนที่เกิดขึ้นอาจอยู่ที่ผิวงานหล่อหรืออาจอยู่ในเนื้อของงานหล่อ ที่มาของแก๊สอาจมาจากการดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาขณะน้ำโลหะไหลเข้าสู่โพรงแบบหล่อ หรือแก๊สที่ปะปนเข้ามาจากบริเวณที่เกิดการไหลแบบเทอร์บูเลนซ์ หรืออาจเกิดขึ้นจากความชื้นในแบบหล่อทราย เมื่อโดนความร้อนจากโลหะหลอมเหลวจึงเกิดเป็นไอขึ้นและดันเข้าไปในโลหะหลอมเหลว สาเหตุอีกประการหนึ่งอาจมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำโลหะกับวัสดุทำแบบหล่อหรือตัวประสาน กรณีที่ใช้หมุดยึดไส้แบบหรือทุ่นเย็นที่ไม่สะอาดก็สามารถทำให้เกิดรูพรุนหรือโพรงอากาศกับชิ้นงานหล่อได้ ภาพที่ 2.14 แสดงลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิดจากแก๊สแบบต่างๆ สำหรับการแก้ไขสามารถทำได้จากสาเหตุที่เกิด เช่น กรณีที่แก๊สมาจากความชื้นจะต้องมีการทำรูระบายอากาศในตำแหน่งที่เกิดรูพรุน หรือใช้ทรายทำแบบหล่อที่มีความโปร่งอากาศสูง ส่วนกรณีรูพรุนที่เกิดจากหมุดยึดไส้แบบหรือทุ่นเย็น จะต้องมีการทำความสะอาดผิวของหมุดยึดไส้แบบให้ดี และหมุดที่ใช้จะต้องแห้งปราศจากความชื้นหรือคราบไขมัน สำหรับชิ้นงานหล่อที่ต้องใช้ไส้แบบยิ่งต้องระวังเป็นพิเศษ เพราะไส้แบบจะถูกหุ้มโดยโลหะหลอมเหลว ดังนั้นไส้แบบจะต้องแห้งและมีรูระบายอากาศที่เพียงพอ รวมถึงอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ส่วนแบบหล่อที่ต้องผสมตัวประสานที่อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

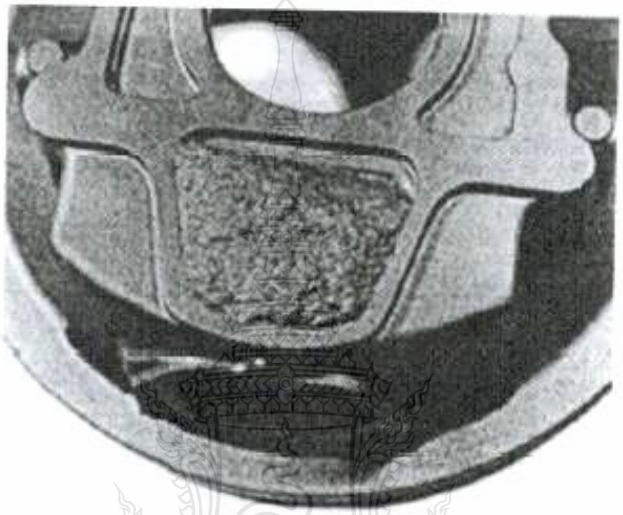
ภาพที่ 2.14 ลักษณะจุดบกพร่องจากแก๊ส [5]

6) สารมลทิน สแลก และกากโลหะ (Inclusions, Slag and Dross) จุดบกพร่องชนิดนี้เกิดจากสิ่งสกปรกที่ปะปนเข้ามากับน้ำโลหะขณะไหลเข้าสู่โพรงแบบหล่อ สิ่งสกปรกนี้อาจอยู่ในรูปของสารมลทิน สแลกหรือขี้ตระกรัน ขี้โลหะหรือกากโลหะรวมไปถึงฟิล์มออกไซด์ต่างๆ สำหรับลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจะเป็นอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับว่าหากสิ่งสกปรกมีน้ำหนักเบาหรือมีความถ่วงจำเพาะน้อยก็จะลอยอยู่บริเวณผิวบนของงานหล่อ แต่ถ้ามีความถ่วงจำเพาะมากก็จะกระจายอยู่ในเนื้อโลหะ สำหรับลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิดจากสาเหตุเหล่านี้ ตามภาพที่ 2.15 ส่วนวิธีการแก้ไขนั้น อาจทำได้โดยการออกแบบระบบทางเข้าให้มีส่วนดักสารมลทิน เช่น ส่วนยืดออกของทางวิ่ง (Runner Extension) หรือใช้ทางเข้าหมุนวน (Swirl Gate) เป็นต้น สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ การดูแลทำความสะอาดเตาหลอม เบ้าเท รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการหลอมโลหะต่างๆ



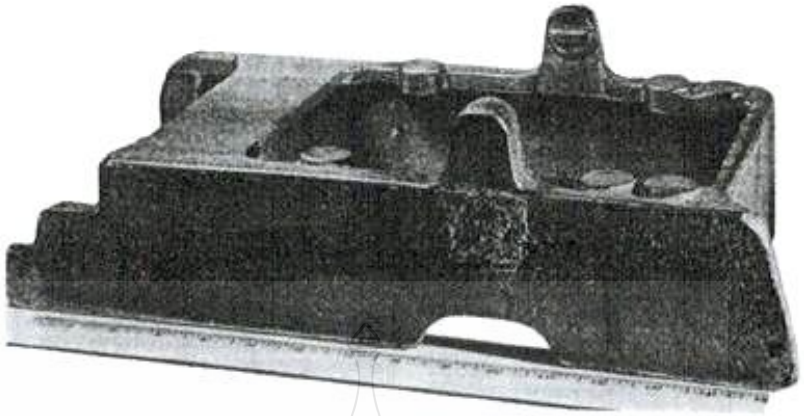
ภาพที่ 2.15 ลักษณะจุดบกพร่องจากสแลกหรือตะกรัน และโลหะออกไซด์ [5]

7) ทรายตก (Sand Drops) เกิดขึ้นเนื่องจากแบบทรายแตกและหลุดร่วงลงมา บางกรณีหากทรายตกน้อย จะไปฝังในเนื้อชิ้นงานทำให้ผิวขรุขระ บางกรณีทรายแตกและตกลงมาเป็นชิ้นขนาดใหญ่ จะทำให้โลหะหลอมเหลวเข้าไปแทนที่เกิดเป็นเนื้อโลหะ ตามภาพที่ 2.16 สาเหตุของการเกิดอาจมาจากทรายแบบหล่อแข็งแรงไม่พอ หรือการเสริมความแข็งแรงของทรายแบบด้วยหมุดหรือตะปูไม่แข็งแรงพอ บางครั้งอาจเกิดจากการกระทบกระเทือนขณะเคลื่อนย้ายแบบ สำหรับการแก้ไขทำได้โดยการแก้ตามสาเหตุ



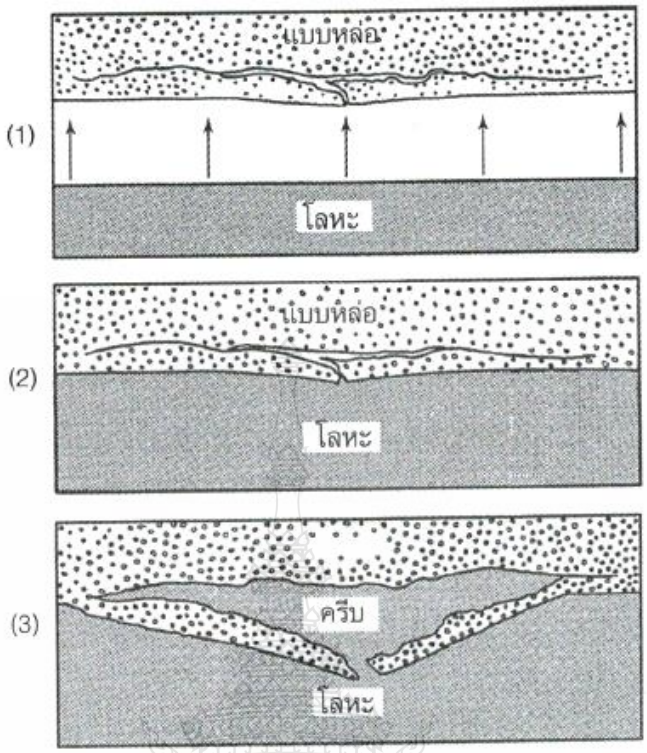
ภาพที่ 2.16 ลักษณะของจุดบกพร่องจากทรายตก [5]

8) การกัดเซาะ (Erosion Scab) เกิดจากการกัดเซาะของโลหะหลอมเหลวบริเวณทางผ่านในระบบทางเข้าของน้ำโลหะหรือในโพรงแบบหล่อ เนื่องจากโลหะหลอมเหลวมีน้ำหนัก ดังนั้นขณะไหลอาจทำการกัดเซาะแบบหล่อทรายให้หลุดลอยปะปนไปกับโลหะหลอมเหลว ซึ่งปกติแล้วทรายจะมีน้ำหนักที่เบากว่าโลหะหลอมเหลวจึงลอยไปติดอยู่ผิวบนของงานหล่อส่วนบน หรือบริเวณผิวส่วนปลาย ตามภาพที่ 2.17 การแก้ไขทำได้โดยการออกแบบระบบทางเข้าให้การโหลเป็นไปอย่างช้าๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่จะเกิดการกระแทกของโลหะหลอมเหลว หรืออาจใช้การเสริมความแข็งแรงให้ทรายแบบหล่อบริเวณที่ถูกกัดเซาะ



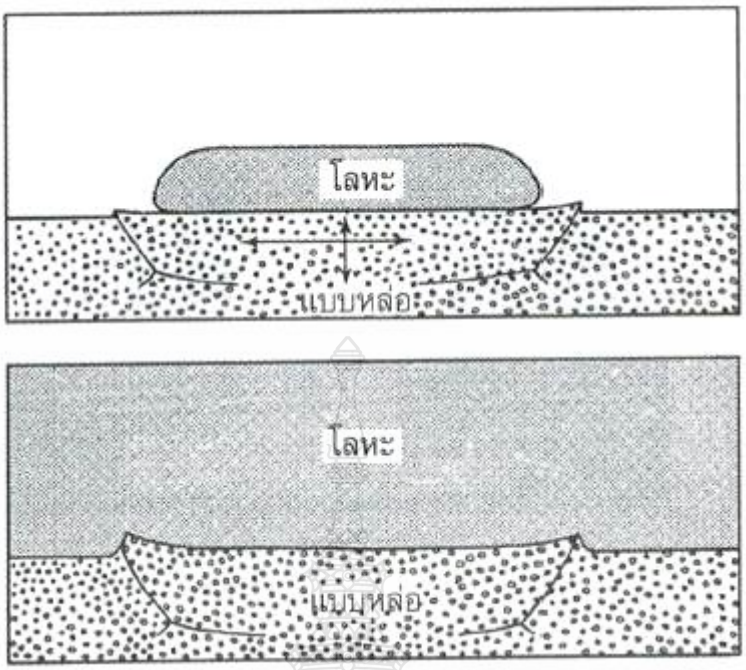
ภาพที่ 2.17 ลักษณะจุดบกพร่องจากการกัดเซาะ [5]

9) การขยายตัว (Expansion Defects) เกิดจากการขยายตัวของทรายแบบหล่อ เมื่อได้รับความร้อนจากโลหะหลอมเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่งทรายที่มีองค์ประกอบของควอตซ์ (Quartz) ซึ่งจะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 575 °C การขยายตัวในช่วงดังกล่าวจะทำให้เกิดผลเสีย 2 ลักษณะคือ หากเกิดการขยายตัวอยู่ในแบบหล่อส่วนบนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากโลหะหลอมเหลว โดยที่โลหะหลอมเหลวยังไม่เต็มโพรงแบบ จะเกิดการแตกร้าวของทรายแบบหล่อ ทำให้ทรายแบบหล่ออ่อนตัวย้อยลงมา เมื่อโลหะหลอมเหลวเต็มโพรงแบบจะแทรกเข้าไปในรอยแตกดังกล่าว ทำให้เกิดเศษที่เป็นครีบที่ผิวงานหล่อและมีทรายฝังตัวอยู่ สำหรับลำดับขั้นการเกิดทรายขยายตัว ตามภาพที่ 2.18 ส่วนลักษณะของงานหล่อที่เกิดจุดบกพร่องจากทรายขยายตัว ตามภาพที่ 2.19 ส่วนกรณีเกิดการขยายตัวในแบบหล่อส่วนล่าง ความร้อนจะทำให้ทรายแบบหล่อขยายตัวและนูนขึ้นมา ตามภาพที่ 2.20 รอยนูนจะเป็นแนวยาวทำให้ผิวของงานหล่อมีลักษณะเป็นเส้นยาว มักเรียกข้อบกพร่องแบบนี้ว่า หางหนู (Rat Tail) ตามภาพที่ 2.21 วิธีการแก้ไขทำได้โดยการเพิ่มความแข็งแรงให้กับทรายแบบหล่อ โดยเฉพาะทรายผิวหน้า (Facing Sand) หรืออาจผสมตัวประสานที่มีความยืดหยุ่น เช่น ผงถ่าน ผงขี้เลื่อย ซึ่งจะช่วยทำให้แบบทรายขยายตัวได้โดยไม่แตกร้าว

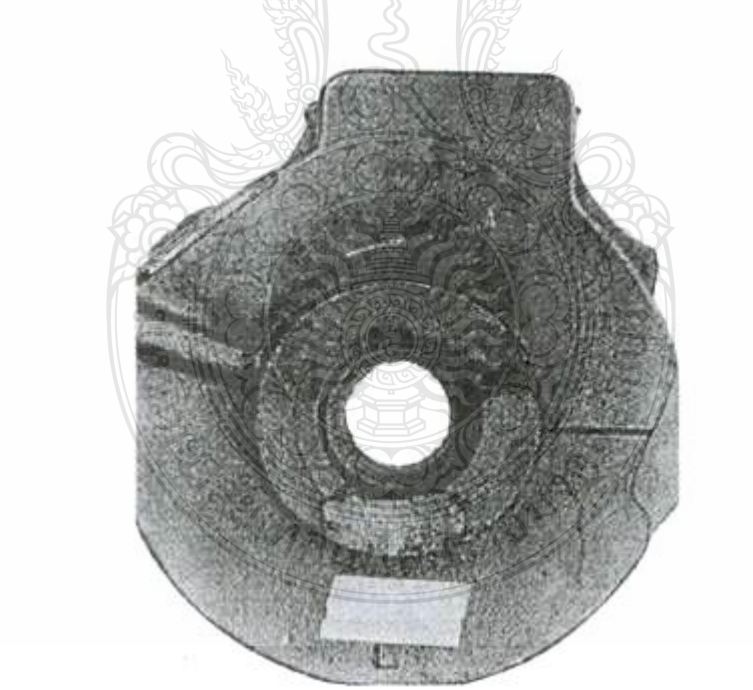


ภาพที่ 2.18 ลำดับขั้นการเกิดทรายขยายตัวอยู่ในแบบหล่อส่วนบน [5]

ภาพที่ 2.19 ชิ้นงานหล่อที่เกิดจุดบกพร่องการขยายตัว [5]



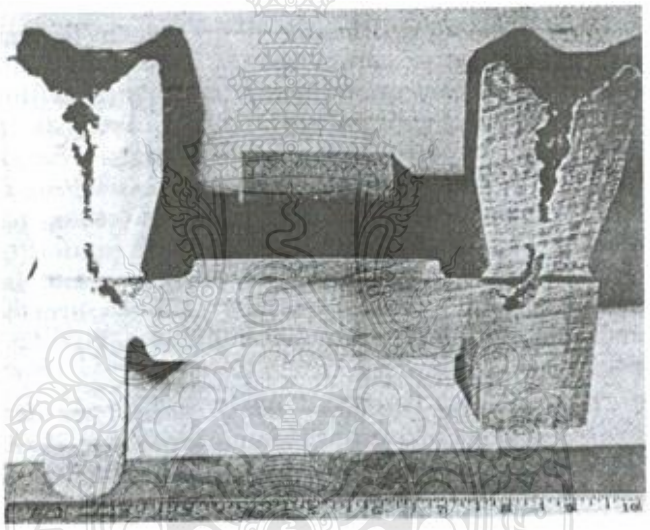
ภาพที่ 2.20 ลำดับขั้นการเกิดทรายขยายตัวอยู่ในแบบหล่อส่วนล่าง [5]



ภาพที่ 2.21 ชิ้นงานหล่อที่เกิดจุดบกพร่องแบบหางหนู [5]

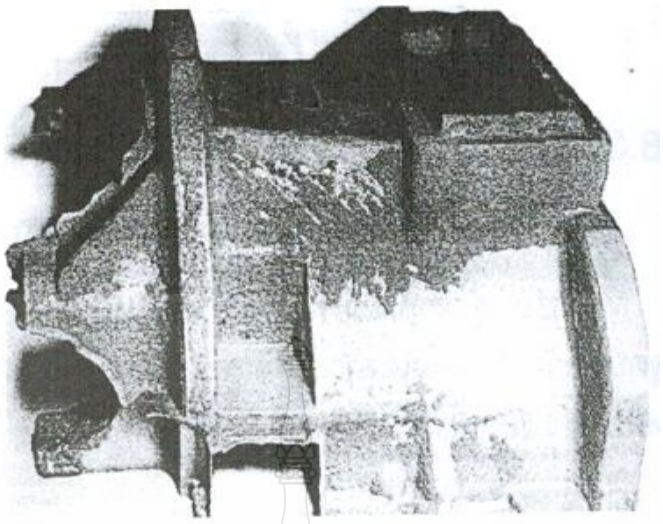
2.3.3 จุดบกพร่องเกิดขึ้นภายหลังการป้อนเติมแบบหล่อ (Defect Occurred After Mold Filling) ภายหลังจากการเทโลหะหลอมเหลวจนเต็มแบบหล่อแล้ว ขณะที่โลหะเย็นตัวลงปัญหาเรื่องจุดบกพร่องก็ยังคงเกิดขึ้นได้ สำหรับจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นภายหลังการเทโลหะหลอมเหลวจนเต็มแบบหล่อแล้ว มีดังนี้

1) โพรงจากการหดตัว (Shrinkage Cavities) เกิดจากการหดตัวของโลหะขณะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นของแข็ง หรือเกิดขึ้นขณะโลหะหลอมเหลวแข็งตัว โพรงจากการหดตัวมักเกิดบริเวณส่วนที่มีความหนามากๆ ลักษณะโพรงจากการหดตัว ตามภาพที่ 2.22 สำหรับสาเหตุของจุดบกพร่องแบบนี้เกิดขึ้นจากการควบคุมทิศทางการแข็งตัวไม่ดี ขนาดของไรเซอร์ไม่เหมาะสม การออกแบบระบบทางเข้าไม่เหมาะสม สำหรับการแก้ไขทำได้โดยการติดไรเซอร์ในตำแหน่งที่เหมาะสม รวมถึงมีจำนวนและขนาดที่เหมาะสม การออกแบบให้มีการแข็งตัวอย่างมีทิศทาง การใช้ชิลล์ช่วยควบคุมการแข็งตัว



ภาพที่ 2.22 ลักษณะโพรงจากการหดตัว [5]

2) โลหะแทรกซึมเข้าผิวแบบหล่อ (Metal Penetration) เกิดจากโลหะแทรกซึมเข้าไปในผิวของแบบหล่อ ตามภาพที่ 2.23 ส่งผลให้ผิวงานหล่อหยาบ สาเหตุเนื่องมาจากใช้เม็ดทรายขนาดโตเกินไปหรือทรายหยาบเกินไป รวมไปถึงโลหะเหลวมีความตึงผิวต่ำ ทำให้สามารถแทรกเข้าไประหว่างช่องว่างของเม็ดทรายได้ ผิวงานหล่อที่ได้จะไม่เรียบและมีทรายฝังติดอยู่ การแก้ไขทำโดยใช้ทรายผิวหน้า (Facing Sand) ที่มีความละเอียดหรือใช้สีทาแบบที่ทำด้วยวัสดุทนความร้อนสูง

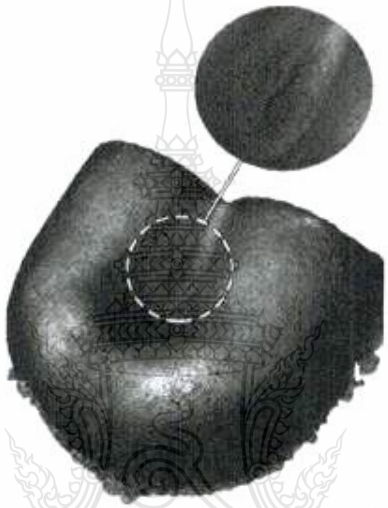


ภาพที่ 2.23 ลักษณะโลหะแทรกซึมเข้าผิวแบบหล่อ [5]

3) ชิ้นงานโป่ง (Swell) ลักษณะของงานหล่อจะโป่งออกด้านข้างและมีผิวหยาบ ตามภาพที่ 2.24 รอยโป่งจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ สาเหตุอาจเกิดมาจากทรายแบบหล่อไม่แข็งแรง ทำให้แรงดันน้ำโลหะดันแบบหล่อให้ยุบได้ วิธีการแก้ไขทำโดยการทำแบบให้แน่นหรือเพิ่มตัวประสานในทรายแบบ

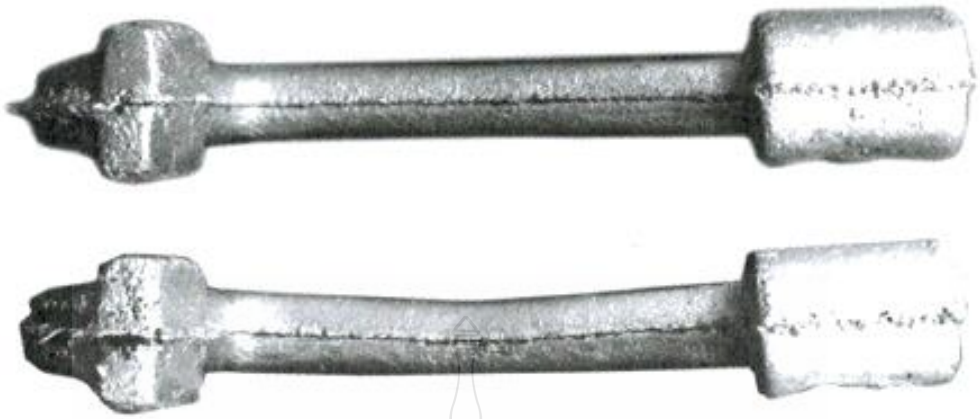
ภาพที่ 2.24 ลักษณะชิ้นงานโป่ง [5]

4) การฉีกขณะร้อน (Hot Tear) รอยฉีกจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอนและไม่สม่ำเสมอ รอยฉีกเกิดขึ้นภายหลังจากโลหะแข็งตัวแล้วเกิดการหดตัวแต่อุณหภูมิยังสูงอยู่ จึงทำให้โลหะยังไม่แข็งแรงพอจะต้านแรงดึงจากการหดตัว จึงเกิดการฉีกขณะร้อนขึ้น โดยมากแล้วมักเกิดกับชิ้นงานหล่อที่มีไส้แบบ โดยขณะหดตัวไส้แบบจะขัดขวางการหดตัวทำให้จุดที่อ่อนแอเกิดการฉีก หรืออาจเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างส่วนที่มีความหนาและบางต่อกันเป็นมุมก็เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน ตามภาพที่ 2.25 สำหรับการแก้ปัญหาอาจทำได้โดยใช้ไส้แบบที่มีความสามารถในการยุบตัวสูง (Collapsibility) ออกแบบงานหล่อบริเวณรอยต่อให้มีส่วนโค้งไม่ให้เป็นมุมแหลมหรือการลดขนาดหน้าตัดลงอย่างช้าๆ



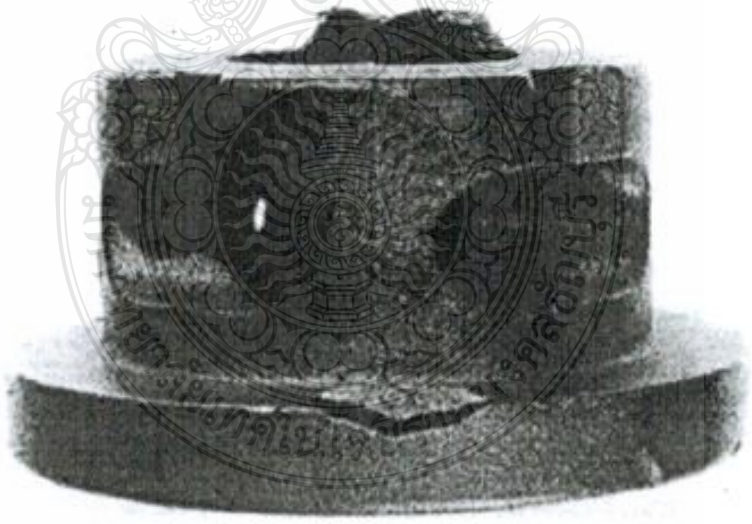
ภาพที่ 2.25 การฉีกขาดบริเวณจุดร้อน [5]

5) งานหล่อบิดงอ (Warped Casting) ชิ้นงานหล่อจะเกิดการบิดงอเสียรูปไปจากที่ต้องการ ตามภาพที่ 2.26 สาเหตุอาจมาจากการออกแบบงานหล่อไม่เหมาะสม มีส่วนต่อที่มีความหนาบางต่างกัน โดยไม่ลดขนาดหน้าตัดอย่างช้าๆ ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานหล่อหดตัวไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความเค้นแต่ละพื้นที่แตกต่างกันส่งผลให้เกิดการบิดงอได้ บางครั้งอาจเป็นสาเหตุจากการรื้อแบบหล่อเร็วเกินไป ซึ่งชิ้นงานหล่อยังไม่แข็งแรงพอก็เกิดการบิดงอได้ อีกสาเหตุหนึ่งอาจมาจากแบบหล่อที่มีความแข็งแรงต่ำ ไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงขณะชื้นหรือความแข็งแรงขณะแห้ง สำหรับวิธีการแก้ไขอาจทำได้โดยการออกแบบชิ้นงานหล่อให้มีการเย็นตัวอย่างมีทิศทาง การลดลงของขนาดที่หนาบางต้องมีความลาดเอียง และระมัดระวังเรื่องการรื้อแบบหล่อที่รวดเร็วเกินไป



ภาพที่ 2.26 การบิดงอของชิ้นงานอะลูมิเนียมที่รื้อแบบหล่อเร็วเกินไป [5]

6) ชิ้นงานหล่อแตกหัก (Broken Casting) ชิ้นงานหล่อเกิดการแตกหักอันเนื่องจากแรงทางกลหรือการขนย้าย เช่น การแตกหักขณะชิ้นงานอยู่ในเครื่องเขย่าทราย การแตกหักขณะขนย้ายชิ้นงานหล่อแล้วซ้อนกันหลายชิ้น หรือการแตกหักขณะตัดระบบทางเข้าออก การแตกหักในขณะทำความสะอาดชิ้นงานหล่อ เป็นต้น ตามภาพที่ 2.27 แสดงลักษณะของชิ้นงานหล่อแตกหัก สำหรับการแก้ไขนั้นให้แก้ไขตามสาเหตุที่เกิด



ภาพที่ 2.27 ชิ้นงานหล่อแตกหัก [5]

7) การหลอมละลาย (Fusion) ลักษณะของผิวงานหล่อจะหยาบ มีทรายหลอมละลายติดอยู่ทำความสะอาดได้ยาก ตามภาพที่ 2.28 สาเหตุโดยมากเกิดขึ้นมาจากการเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงมากๆ และทรายแบบหล่อทำปฏิกิริยากับน้ำโลหะ รวมไปถึงการใช้ทรายที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ สำหรับการป้องกันอาจทำได้โดยการเทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิเหมาะสม การใช้ทรายที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับโลหะหลอมเหลวและการเลือกใช้ทรายที่มีจุดหลอมเหลวสูงๆ หรือใช้สีทาแบบเคลือบผิวทรายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างทรายกับน้ำโลหะ ที่สำคัญควรหลีกเลี่ยงการเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิสูงๆ

ภาพที่ 2.28 จุดบกพร่องจากการหลอมละลายในชิ้นงานเหล็กหล่อสีเทา [5]

2.4 เครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุ

2.4.1 เทคนิควิเคราะห์หาสาเหตุด้วยคำถาม ทำไม ทำไม (Why-Why Analysis)

เทคนิคการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยคำถาม ทำไม ทำไม เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาซึ่งเหมาะกับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวไม่ได้เกิดเป็นประจำ โดยหากสามารถค้นพบสาเหตุรากเหง้าและกำจัดได้แล้ว ปัญหาเดิมจะไม่เกิดซ้ำ หากปัญหาเดิมเกิดซ้ำ แสดงว่าการวิเคราะห์นั้นมาผิดทาง หรืออาจมีบางสาเหตุตกหล่นไป อาจจะต้องมาทำการวิเคราะห์ใหม่ โดยเครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมาก หากผู้วิเคราะห์ มีความเข้าใจ และมีความชำนาญในงานที่ตนทำอยู่ จากประสบการณ์ของคณะผู้จัดทำ พบว่าส่วนใหญ่การใช้หลักการหาสาเหตุด้วยคำถาม ทำไม ทำไม นั้นยังใช้เพียงเพื่อนำเสนอต่อหัวหน้างานเมื่อเกิดปัญหา โดยที่ปัญหาเดิมยังคงเกิดซ้ำอยู่เรื่อย ๆ ซึ่งโดยมากอาศัยเพียงการตรวจสอบที่ถี่ขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเปล่าตามมา ในการวิเคราะห์สาเหตุด้วยคำถาม ทำไม ทำไม เป็นเพียงเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาเท่านั้น การจะทำให้ปัญหานั้นหมดไป จึงจำเป็นจะต้องประยุกต์หลักการอื่น ๆ เข้ามาช่วย ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับสภาพ

ปัญหาที่กำลังวิเคราะห์กันอยู่เป็นหลักโดยมีขั้นตอนในการทำสาเหตุ ด้วยคำถาม ทำไม ทำไม ตามภาพที่ 2.29 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ [6]

1) วิเคราะห์ข้อเท็จจริง โดยไปดูต้นตอ หรือสาเหตุจริง ๆ ให้รู้อย่างลึกซึ้งว่ามีที่มาที่ไปอย่างไร และลักษณะอาการ เป็นอย่างไร จากสถานการณ์จริง และดูสภาพของจริง เพื่อให้ได้ข้อเท็จจริง

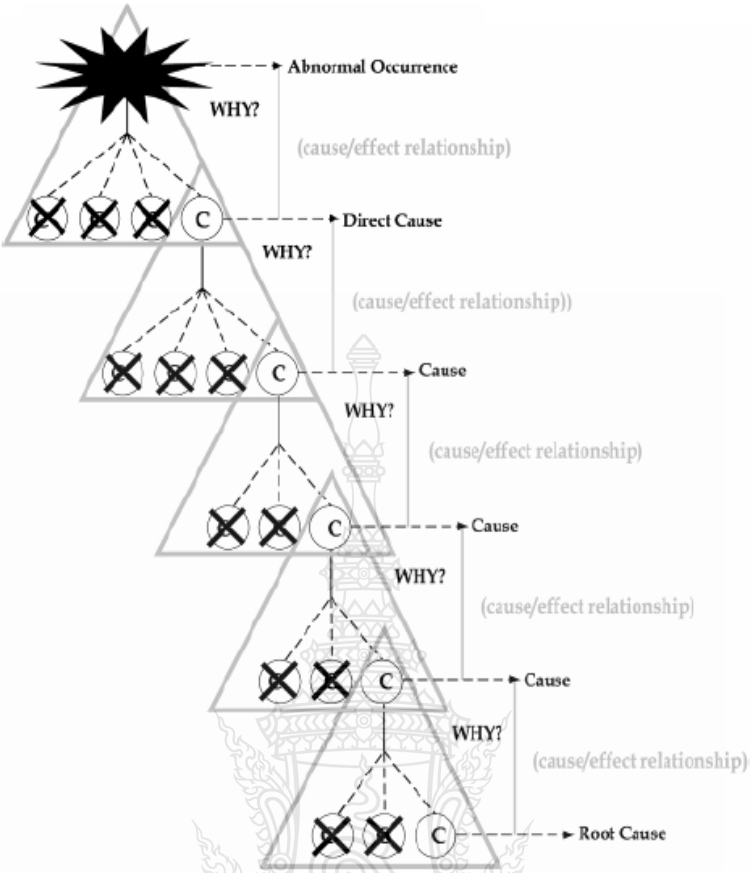
2) วิเคราะห์หาต้นตอของปัญหา โดยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการหรือปัญหา ซึ่งทำได้โดย การถามทำไม ทำไม ไปเรื่อยๆ จนพบต้นตอของปัญหา ซึ่งส่วนใหญ่แล้วต้นตอของปัญหามักจะเกิดจากการขาดมาตรการการปฏิบัติงานที่ดี และเพียงพอต่อการปฏิบัติงาน สำหรับปรากฏการณ์ หรือบางปัญหาส่วนใหญ่มักมีมากกว่าหนึ่งสาเหตุ จึงควรให้เขียนเขียนแผนภูมิต้นไม้ (Tree Diagram) ตามภาพที่ 2.30 ร่วมด้วยจะทำให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยการถามกลับไป กลับว่าสิ่งนั้น ๆ เป็นเหตุเป็นผล หรือมีความสอดคล้องกันเชิงตรรกะ (Logic) หรือไม่การพิจารณาด้วยวิธีนี้จะช่วยทำให้การวิเคราะห์ของมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

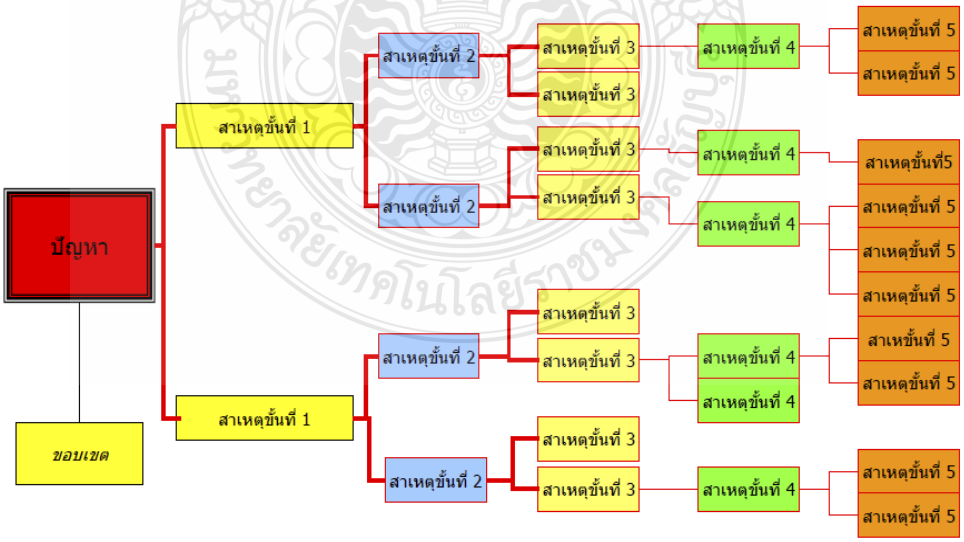
4) วิเคราะห์หาวิธีการแก้ไข หรือป้องกัน โดยการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายนั้นทำให้ได้ทราบถึงต้นตอที่แท้จริง จากนั้นจึงมาค้นหาวิธีการแก้ไข และมาตรการป้องกันการเกิดซ้ำ

5) นำมาตรการที่ได้ไปปฏิบัติจริง โดยนำวิธีการแก้ไข และป้องกันดังกล่าวไปปฏิบัติ นอกจากนี้อาจนำวิธีการแก้ไขป้องกันดังกล่าว ไปขยายผลกับสิ่งอื่นๆ หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่มีความใกล้เคียงกันก็จะเป็นประโยชน์มากขึ้น

เพื่อให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพ และสะท้อนปัญหาที่แท้จริงมากที่สุดในการวิเคราะห์หาสาเหตุควรใช้หลัก 5 จริง (5Gen) สถานที่จริง (Gen-Ba) ของจริง (Gen-Butsu) สภาพการณ์จริง (Gen-Jitsu) หลักการและทฤษฎีจริง (Gen-Ri) และระเบียบปฏิบัติและมาตรฐานจริง (Gen-Soku)



ภาพที่ 2.29 เทคนิควิเคราะห์หาสาเหตุด้วยคำถาม ทำไม ทำไม [6]



ภาพที่ 2.30 แผนภูมิต้นไม้ [6]

2.2.2 ไคเซ็น (KAIZEN)

ไคเซ็น หมายถึง กลยุทธ์การบริหารงานแบบญี่ปุ่น เป็นภาษาญี่ปุ่น แปลว่าการปรับปรุง (Improvement) เป็นแนวคิดที่ทำใช้ในการบริหารการจัดการมีประสิทธิผล โดยมุ่งปรับปรุงวิธีการ ส่วนร่วมของพนักงานทุกคน บุคลากรทุกระดับร่วมกันแสวงหาแนวทางใหม่ๆเพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานให้ดีขึ้นไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยบันทึกลงแบบฟอร์มการปรับปรุงไคเซ็น ตามภาพที่ 2.31 โดยเป็นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องซึ่งต่างกับนวัตกรรมที่เป็นการปรับปรุงอย่างก้าวกระโดด ดังภาพที่ 2.32 โดยไคเซ็นนั้นเกิดจากการบริหารที่ประสบปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างทศวรรษที่ 1980 และทศวรรษที่ 1990 บริษัทที่ประสบความสำเร็จ มักนำเอาแนวคิดของไคเซ็น คือการยอมรับว่าการบริหารให้ประสบผลสำเร็จจะต้องแสวงหาวิธีการที่จะทำให้ลูกค้าพึงพอใจและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี เป็นกลยุทธ์ในการปรับปรุงที่มุ่งที่ตัวลูกค้า นอกจากนี้แนวคิดไคเซ็นยังขยายขอบข่ายออกไปถึงความสัมพันธ์ระหว่าง พนักงานกับนายจ้างด้วยในด้านการผลิต การตลาด การจัดจำหน่ายอย่างเป็นระบบไคเซ็น ให้ความสำคัญกับกระบวนการทำงาน ริเริ่มวิธีการคิดที่มุ่งกระบวนการทำงานและระบบการบริหารที่สนับสนุน ยอมรับแนวคิดของผู้บริหารและพนักงานจากหลักการของไคเซ็น จึงเป็นแนวคิดที่จะช่วยมาตรฐานที่มีอยู่เดิม (Maintain) และปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น (Improvement) ซึ่งกำหนดแนวคิดนี้แล้ว มาตรฐานที่มีอยู่เดิมก็จะค่อยๆ ลดลง ความสำคัญในกระบวนการของไคเซ็น คือ การใช้ความรู้ความสามารถของพนักงานมาคิดปรับปรุงงาน โดยใช้การลงทุนเพียงเล็กน้อยซึ่งก่อให้เกิดการปรับปรุงที่จะเล็กที่ละน้อยที่ค่อยๆ เพิ่มพูนขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตรงข้ามกับแนวคิดของนวัตกรรม (Innovation) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดใหญ่ ที่ต้องใช้เทคโนโลยีซับซ้อนระดับสูง ด้วยเงินลงทุนมหาศาล ดังนั้นไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะเศรษฐกิจแบบใดก็สามารถใช้วิธีการของไคเซ็นเพื่อปรับปรุงได้ [7]

1) กลยุทธ์หลักไคเซ็น

(1) รายการตรวจสอบ หมายถึง ระบบตรวจสอบซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมา เพื่อเป็นแนวทางช่วยผู้บริหาร และพนักงานช่วยกันแก้ไขปรับปรุงงานของตนอยู่เสมอประกอบไปด้วย ความสูญเปล่า (Muda) ความตึง (Muri) ความแตกต่างขัดแย้งกัน (Mura) โดยการนำเอารายการตรวจสอบไปพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของการทำงาน เช่น กำลังคน เทคนิค วิธีการ เวลา สิ่งอำนวยความสะดวกและเครื่องมือเครื่องใช้วัสดุที่ใช้ ปริมาณการผลิต สินค้าคงคลัง สถานที่ทำงาน แนวความคิดในการทำงาน

(2) หลักการ 5ส. ได้แก่ สะสาง (Seiri) สะดวก (Seiton) สะอาด (Seiso) สุขลักษณะ (Seiketsu) สร้างวินัย (Shitsuke)

(3) หลักการ 5 W 1H ใครเป็นผู้ทำ (Who) ทำอะไร (What) ทำที่ไหน (Where) ทำเมื่อไร (When) ทำไมต้องทำอย่างนั้น (Why) ทำอย่างไร (How)

(4) รายการตรวจสอบ 4M ได้แก่ คน (Man) หมายถึง การตรวจสอบผู้ปฏิบัติทำงานตาม มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ มีความรับผิดชอบหรือไม่ ผู้ปฏิบัติมีทักษะความชำนาญหรือไม่ ผู้ปฏิบัติได้รับมอบงานที่ตรงกับความสามารถหรือไม่ เครื่องจักร (Machine) หมายถึง การตรวจสอบอุปกรณ์อำนวยความสะดวกสอดคล้องกับความสามารถของขบวนการผลิตหรือไม่ เครื่องจักรขัดข้องบ่อยหรือไม่ การจัดวางเหมาะสมหรือไม่ เครื่องจักรอยู่ในสภาพการใช้งานหรือไม่ วัสดุ (Material)

หมายถึง การตรวจสอบ 6 ข้อผิดพลาดในเรื่องคุณภาพการตรวจสอบระบบคงคลังเพียงพอหรือไม่ วิธีการดำเนินการ (Method) หมายถึง การตรวจสอบว่ามาตรฐานในการทำงานมีเพียงพอหรือไม่ มีวิธีที่ปลอดภัยหรือไม่ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพหรือไม่ ลำดับขั้นตอนการทำงานเหมาะสมหรือไม่

2) ระบบสำคัญของไคเซ็น (Kaizen) ในระบบแนวคิดของไคเซ็นประกอบด้วยระบบสำคัญอย่างน้อย 5 ระบบ คือ

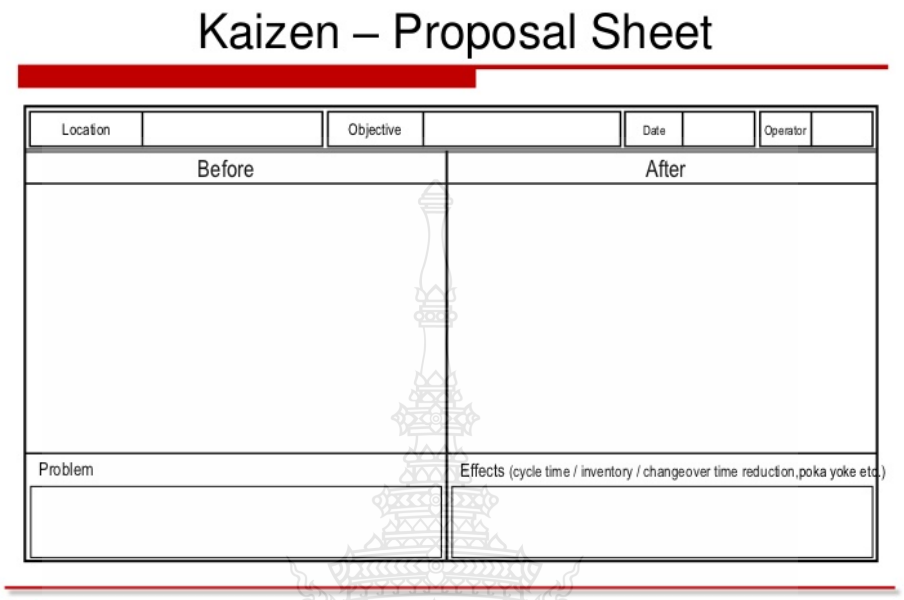
(1) การควบคุมคุณภาพและการบริหารคุณภาพทั้งระบบ เกี่ยวข้องกับการควบคุมกระบวนการคุณภาพ ตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตจนกระทั่งผลิตสำเร็จ ซึ่งเกี่ยวข้องกับบุคคลหลายฝ่าย ได้แก่ ผู้บริหารระดับสูง ระดับกลาง และหัวหน้างาน รวมทั้งพนักงานทุกคน รวมไปถึง สภาพแวดล้อมภายในองค์กรด้วยการวางแผนเพื่อการตรวจสอบติดต่อประเมินผล การเผยแพร่นโยบาย รวมไปถึงการสร้างระบบประกันคุณภาพ

(2) ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (JIT) ระบบนี้ เกิดขึ้นที่ บริษัทโตโยต้ามอเตอร์ ประเทศญี่ปุ่น ในการผลิตเพื่อส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้าในเวลาที่กำหนด โดยมีการออกแบบรองรับการผลิตที่ยืดหยุ่นเพื่อรองรับความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นจาก กระบวนการต่าง ๆ เช่น กระบวนการสั่งสินค้าที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการของลูกค้า การสั่งซื้อวัตถุดิบล่าช้า กระบวนการผลิตที่อาจมีปัญหา แนวคิดระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี เป็นแนวคิดที่จะขจัดกิจกรรมที่ไม่มีมูลค่าเพิ่มทุกชนิดออกไป โดยใช้ระบบการผลิตที่เรียกว่าทำในเวลา (Take Time) คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานหนึ่งหน่วยเปรียบเทียบกับเวลาวงจรการผลิต (Cycle Time) กระแสการผลิตที่ละชิ้นส่วน (One Piece Flow) การลดเวลากับค่าใช้จ่ายในการตั้งระบบ การผลิตใหม่แต่ละครั้ง (Setup Time and Cost Reduction) การผลิตแบบดึง (Pull Production) ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีจะช่วยให้ขจัดงานที่ไม่มีมูลค่าเพิ่มออกไป และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อย่างมหาศาล และทำให้มีการนำส่งมอบสินค้าที่กำหนดนัดหมายอันเป็นการช่วยเพิ่มผลกำไรให้แก่บริษัท

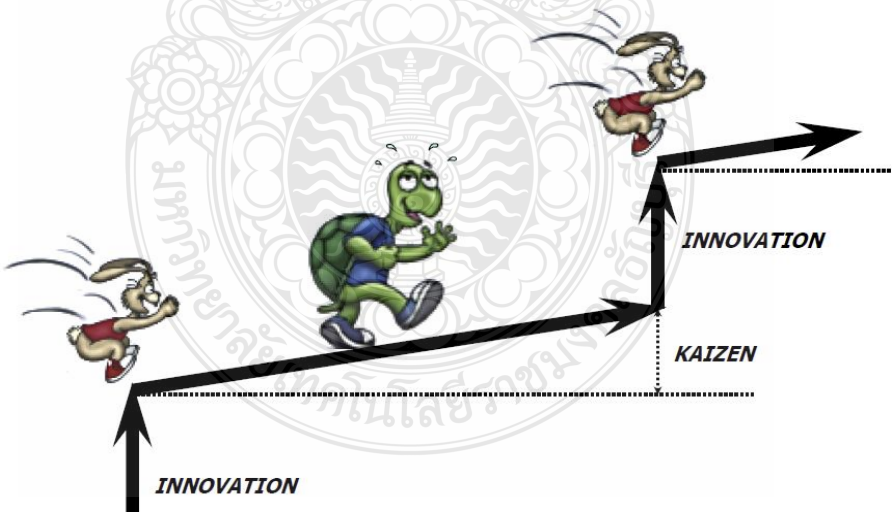
(3) การบำรุงรักษาทวีผล (Total Productive Maintenance) หมายถึง การกำหนดเป้าหมายให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมเป็นการสร้างระบบรวม (Total System) โดยมีเป้าหมายที่วงจรชีวิตของเครื่องจักร โดยสร้างความร่วมมือระหว่างทุกฝ่ายทั้งฝ่ายบริหาร ฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง พนักงานทุกระดับมีส่วนร่วม และผู้บริหารสร้างแรงจูงใจ ส่งเสริมกิจกรรมกลุ่มย่อยในการบำรุงรักษาเครื่องจักร เครื่องใช้ให้มีอายุการใช้งานยาวนาน โดยทุกคนช่วยกันดูแลบำรุงรักษาตามแผนการที่กำหนด

(4) ระบบข้อเสนอแนะ (Suggestion System) เป็นระบบการบำรุงขวัญกำลังใจให้แก่พนักงานในการเปิดโอกาสให้มีส่วนในเชิงสร้างสรรค์ โดยกระตุ้นให้พนักงาน ได้แสดงออกในการให้ข้อเสนอแนะในเรื่องต่าง ๆ เน้นปริมาณของความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ส่งเสริมให้มีการพูดคุยปรึกษาหารือกับหัวหน้างานเพื่อให้ได้ แนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำงาน พัฒนาการในด้านการปลูกฝังจิตสำนึก ความมีความคิดริเริ่มให้แก่พนักงาน ระบบข้อเสนอแนะ เกิดจากกิจกรรมที่มีปัญหาโดยพนักงานเป็นผู้ค้นหาสิ่งผิดปกติที่อยู่ใกล้ตัวก่อน หาสาเหตุที่แท้จริงของสิ่งผิดปกติ และเสนอแนะวิธีการแก้ไขที่สาเหตุของปัญหา โดยอาจอยู่ในรูปกิจกรรมกลุ่มย่อย (Small Group Activities) กล่าวคือ

บรรดากลุ่มพนักงานภายในหน่วยงานเดียวกันรวมกลุ่มที่มีจำนวนสมาชิกไม่มากนัก หรือรวมตัวกันอย่างไม่เป็นทางการเพื่อทำข้อเสนอแนะ หรืออาจจะทำคนเดียวก็ได้



ภาพที่ 2.31 แบบฟอร์มการปรับปรุงไคเซ็น [8]



ภาพที่ 2.32 การเปรียบเทียบการปรับปรุงไคเซ็น และนวัตกรรม [9]

2.2.3 แบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุด (One Point Lesson : OPL)

แบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุด เป็นรูปแบบการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ เพื่อการพัฒนางานขององค์กร และบริษัทต่าง ๆ ที่มีใช้กันมานานแล้ว โดยเป็นบทเรียนหนึ่งประเด็นที่ถ่ายทอดความรู้ความชำนาญเฉพาะบุคคลไปสู่บุคคลอื่น ซึ่งการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันหลายๆครั้งจะทำให้เกิดการเรียนรู้ถ่ายทอดความรู้ภายในองค์กร ทำให้เกิดเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ ซึ่งในส่วนของแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุดจะอธิบายวิธีการทำงาน การใช้เครื่องมือ หรือเรื่องอื่นๆ โดยมุ่งการเขียนเพียงประเด็นเดียว เรื่องเดียว จุดเดียวในหนึ่งบทเรียน ซึ่งวัตถุประสงค์ที่แลกเปลี่ยนประเด็นเดียว เพื่อเจาะประเด็นในการเรียนรู้เพียงประเด็นในการเรียนรู้เพียงประเด็นเดียว เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างชัดเจนทั้งผู้เขียนและผู้ถูกถ่ายทอด และป้องกันการเกิดความสับสนแก่ผู้เรียนหากต้องเรียนรู้ และจดจำในหลายประเด็น [10]

1) ประเภทของแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุด

(1) ความรู้พื้นฐาน คือ ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงาน

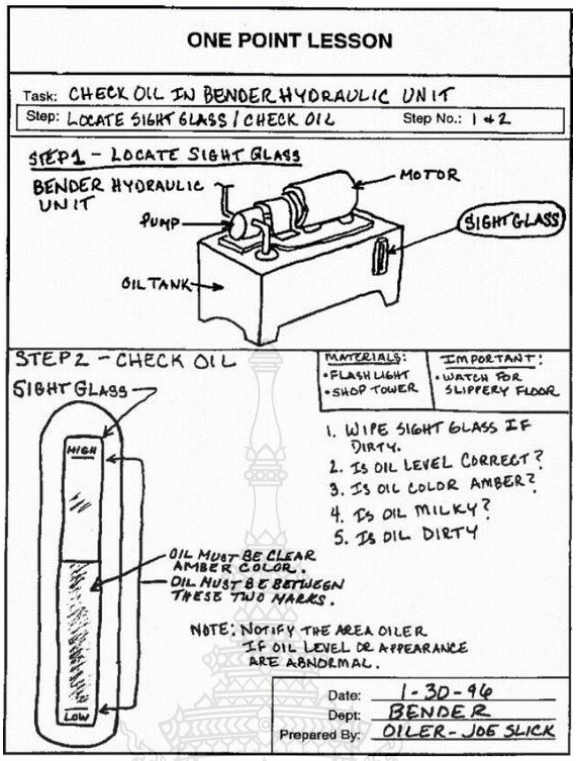
(2) การปรับปรุงงาน

(3) ปัญหาที่เกิดขึ้น

(4) ความปลอดภัย สุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2) ลักษณะสำคัญของแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุด

ขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างละเอียดในประเด็นที่จัดทำเพียงประเด็นเดียว และส่วนใหญ่จะมีภาพประกอบเสมอ การเขียนแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุดนั้นจะเน้นการใช้รูปวาดมากกว่ารูปถ่ายที่เป็นเช่นนี้เพราะหากว่าสามารถวาดรูปได้นั้นหมายความว่ามีความเข้าใจการทำงานของชิ้นส่วนนั้นเป็นอย่างดีการใช้รูปถ่ายอาจทำได้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในจุดนั้น ๆ เพียงเท่านั้นการเขียนแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุดนั้น ต้องเน้นการใช้รูปเพราะรูปสามารถสื่อสารได้อย่างถูกต้อง มากกว่าการเขียนบรรยาย ดังนั้นแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุดจึงต้องเน้นที่รูป ข้อความจะกระชับ และสั้น เพื่อให้สามารถเรียนรู้ได้ในระยะเวลาสั้นแบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุดเป็นหนึ่งในวิธีการที่จะพัฒนางานให้มีคุณภาพมากขึ้น ดังภาพที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 แบบฟอร์มสอนงานเฉพาะจุด [11]

2.2.4 การจัดแผนการปฏิบัติงาน (Action Plan)

การวางแผน (Planning) เป็นขั้นตอนหนึ่งของการบริหารหรือการจัดการ (Management) โดยทั่ว ๆ ไปการวางแผนเป็นกระบวนการที่เกี่ยวกับการระบุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ มีการกำหนดกลยุทธ์ต่าง ๆ ที่จะทำให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์เหล่านั้นได้การวางแผนเป็นสิ่งจำเป็น เพราะมีส่วนทำให้ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่รู้แนวทางการดำเนินงานขององค์กร ลดการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อนหรืองานที่สิ้นเปลือง และช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในอนาคต การวางแผนที่ดีจะต้องมี การคาดคะเนทิศทางหรือสถานการณ์ในอนาคต โดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนอกจากนี้การวางแผนยังเป็นประโยชน์สำหรับการควบคุมถ้าไม่มีการวางแผน ก็จะไม่มีวิธีการใดควบคุมการปฏิบัติงานของโครงการอย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 2.34 [12]

1) ขั้นตอนการวางแผนงาน

(1) ศึกษาปัญหา ควรศึกษาปัญหาหรืองานว่ามีอะไรบ้างที่ควรคำนึงถึง การมีข้อมูลมากกว่าย่อมจะช่วยทำให้เกิดข้อควรระวังหรือข้อควรตระหนักได้มากกว่าในขณะที่กำลังลงมือวางแผนในการศึกษาปัญหาหรืองานที่เกี่ยวกับการวางแผน ไม่ควรกระทำแต่ผู้เดียวเพราะนอกจากจะได้ข้อมูลน้อยไม่ครอบคลุมแล้วยังขาดความร่วมมือจากทีมงานอีก

(2) กำหนดเป้าหมายที่บรรลุผลได้ (Attainable goals) ควรมีการกำหนดเป้าหมายที่บรรลุผลได้ (Attainable goals) ไว้ให้ชัดเจน และมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือถกเถียงกันบ้าง

จึงจะแสดงว่างานนั้นกำลังได้รับความสนใจและได้รับความร่วมมือตามเป้าหมายซึ่งจะดีกว่าเป้าหมายที่ขาดการอภิปรายถกเถียง หากผู้บังคับบัญชาไม่เชี่ยวชาญในการนำประชุม และพยายามหลีกเลี่ยงการอภิปรายแผนที่ออกมาก็จะไม่ได้รับความร่วมมือเท่าที่ควร

(3) ประชุมวางแผนปฏิบัติงาน ควรมีการวางแผนปฏิบัติงานอย่างเป็นขั้นตอนโดยคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญคือ คน (Man) เงิน (Money) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) ตลาดต่อลูกค้า (Market) เวลา (Time) และเทคโนโลยี (Technology) อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ

(4) กำหนดแผนการติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงาน มีการกำหนดแผนการติดตามประเมินผลการปฏิบัติงาน และปรับปรุงงาน โดยจัดทำเป็นตารางที่ สามารถทบทวนได้ทั้งนี้เพื่อความมั่นใจว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้จะบรรลุผลได้อย่างแน่นอน

2) ตารางการจัดทำแผนงาน เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแปลงแผนงานต่อโครงการไปสู่กิจกรรมย่อยในเชิงปฏิบัติ และช่วยควบคุมให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถดำเนินการปฏิบัติงานได้สะดวกยิ่งขึ้น ลดภาระในการตัดสินใจว่าจะทำอะไรเมื่อไหร่ ลดความเสี่ยงในการควบคุมให้เป็นไปตามเป้าหมายของแผนงานต่อโครงการโดยตารางการแผนงานนั้นมีส่วนประกอบดังนี้

(1) ชื่องานต่อโครงการ ควรจะตั้งชื่อแผนปฏิบัติงานให้ชัดเจนควรตั้งชื่อให้น่าสนใจมีเอกลักษณ์เพื่อที่ ผู้เกี่ยวข้องจะสามารถจดจำแผนปฏิบัติงานนั้นได้ดีและเป็นนการสร้างเอกลักษณ์ของแผนปฏิบัติงานนั้น ๆ ได้อีกด้วย

(2) เป้าหมายของโครงการ เป็นผลที่ตั้งเอาไว้เพื่อที่จะปฏิบัติงานให้บรรลุในอนาคต ซึ่งการตั้งเป้าหมายที่ดีจะต้องมีเป้าหมายของโครงการที่ชัดเจน (Specific) สามารถวัดผลได้ (Measurable) สามารถที่จะทำให้บรรลุผลได้ (Attainable) มีสภาพตามความเหมาะสม สามารถทำให้เกิดขึ้นจริงได้ไม่ยากหรือง่าย จนเกินไป (Realistic) และต้องมีกรอบเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของเป้าหมายที่ชัดเจน (Timely)

(3) วัตถุประสงค์ เป็นเป้าหมายย่อย (Objectives Sub Goal) ซึ่งการตั้งวัตถุประสงค์ที่ดีจะต้องสามารถประเมินผลการปฏิบัติงานได้ ควรลงรายละเอียดการทำโครงการนี้จะทำให้องค์กรได้รับผล (Output) อะไรบ้าง ปริมาณเท่าใด หรือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานหรือประหยัดค่าใช้จ่ายขององค์กรได้มากน้อยเพียงใด

(4) ลำดับ เป็นการจัดลำดับของแต่ละกิจกรรมว่ากิจกรรมใดควรที่จะทำก่อนหรือหลังเพื่อให้แผนการทำงานมีความต่อเนื่องและสอดคล้องกัน

(5) ขั้นตอนหลักและกิจกรรม คือการกำหนดว่าวิธีการ หรือกิจกรรมใดต้องทำก่อนหรือกิจกรรมใดต้องทำหลังจึงจะดีที่สุด เพื่อให้วัตถุประสงค์ที่ตั้งมานั้นบรรลุผลสำเร็จได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้แผนปฏิบัติงานควรจะกำหนดขั้นตอนต่อกระบวนการหลักๆ ไว้ให้ชัดเจนแล้วกำหนดกิจกรรมย่อยๆ ของแต่ละขั้นตอนว่ามีอะไรบ้าง

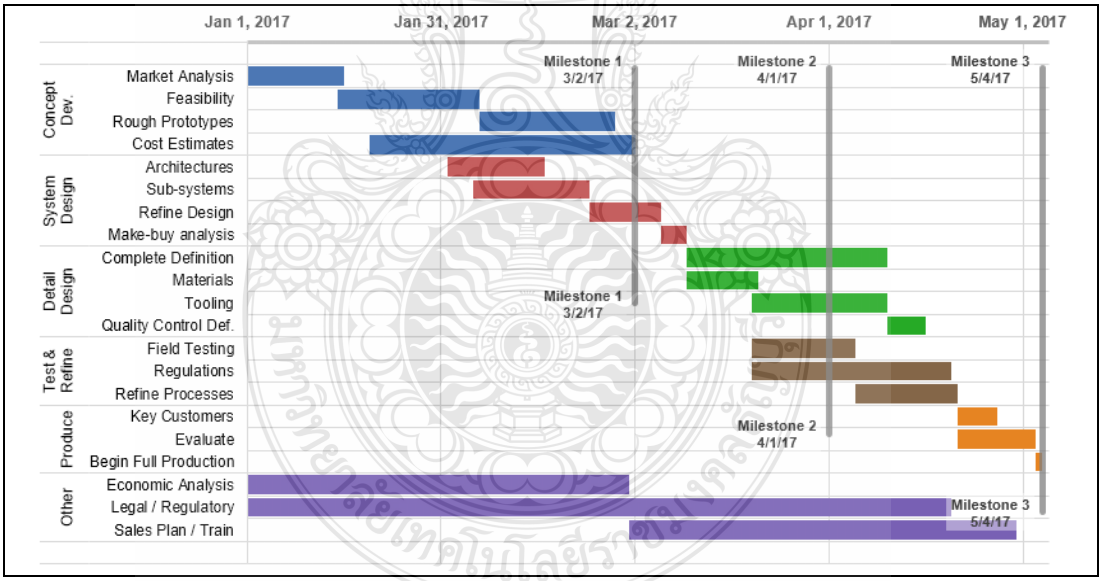
(6) ผู้รับผิดชอบควรจะมีการกำหนดชื่อบุคคล หรือผู้ที่รับผิดชอบแผนปฏิบัติงานหลักไว้และแต่ละกิจกรรมควรจะกำหนด ผู้รับผิดชอบให้ชัดเจนเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อจะได้พิจารณาดูว่าใครรับผิดชอบมากน้อยเกินไป และคนที่รับผิดชอบมีความเหมาะสมกับกิจกรรมนั้น ๆ

(7) กำหนดระยะเวลา ให้ระบุว่ากิจกรรมแต่ละข้อนั้นจะทำเมื่อไร จะใช้ระยะเวลาในการทำงานเท่าไร สามารถกำหนดเป็น ปี เดือน วัน หรือชั่วโมงก็ได้ ซึ่งควรระบุวันเวลาให้ชัดเจน เพื่อจะสามารถดูภาพรวมของแผนปฏิบัติงานได้ว่ามีกิจกรรมใดบ้างที่สามารถทำไปพร้อมกันได้ กิจกรรมใดต้องรอให้กิจกรรมอื่นเสร็จก่อนถึงจะปฏิบัติงานได้ตลอดจนวัน เวลา และสถานที่

(8) งบประมาณหรือปัจจัยการลงทุน นอกเหนือจากเงินที่จะเป็นตัวกำหนดการลงทุนต่อค่าใช้จ่ายของโครงการแล้วยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการทำงานหรือกิจกรรมนั้น เช่น กำลังคน วัตถุดิบ หรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในกิจกรรมของโครงการนั้น ๆ การวิเคราะห์ และกำหนดงบประมาณจากทุกกิจกรรมช่วยทำให้แผนปฏิบัติงานมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

(9) ผลที่คาดว่าจะได้รับ ระบุผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output) ในแต่ละงานหรือกิจกรรมที่ทำซึ่งผลนั้นจะเกิดจากการปฏิบัติงานได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ของแผนปฏิบัติงานนั้นได้แก กำไร ผลจากการปฏิบัติงาน เป็นต้น

ในการจัดทำแผนปฏิบัติงานนั้น ๆ มีรูปแบบ เทคนิค วิธีการได้หลากหลายขึ้นอยู่กับความเหมาะสม และวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ซึ่งในการจัดทำแผนปฏิบัติ งานหากสามารถระบุรายละเอียดหรือหัวข้ออื่นๆ ที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงานของแผนต่อโครงการได้จะช่วยให้การปฏิบัติงานสามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และบรรลุตามเป้าหมายตามแผนปฏิบัติงานที่กำหนดไว้



ภาพที่ 2.34 แผนปฏิบัติการ [13]

2.5 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง

เครื่องมือที่ใช้แก้ไขปัญหาคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC-Tools) ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ทั้งเครื่องมือคุณภาพ 7 อย่างแบบเก่า และแบบใหม่ แต่อย่างไรก็ดีเครื่องมือคุณภาพ 7 อย่างแบบเก่าก็ยังเป็นที่นิยมและใช้กันแพร่หลาย มากกว่าแบบใหม่ โดยจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนและกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติ ให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้จัดทำวิจัยเล่มนี้ จำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงวิธีการใช้ รวมถึงเทคนิค 7 อย่างดังนี้ [17]

2.5.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

ใบตรวจสอบเป็นตารางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลรวบรวมข้อมูลในกรรมวิธีการผลิต เพื่อประโยชน์ในการทำฮีสโตรแกรม (Histogram) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) และใช้วิเคราะห์ในการแก้ปัญหาต่างๆ การจัดทำลักษณะใบตรวจสอบ จะต้องพิจารณารูปแบบที่สามารถจะบันทึกข้อมูลได้ง่ายและชัดเจน ระบุชิ้นงาน ผู้ตรวจสอบ วันเวลา ที่ทำการตรวจสอบและข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.5.2 ฮิสโตรแกรม (Histogram)

ฮีสโตรแกรมเป็นกราฟแท่งที่แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูล ความสูงของกราฟแท่ง และแสดงความถี่ของข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงกว้างนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการแจกแจงรูปร่าง (Shape) ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลาง (Central Tendency) และการกระจายของข้อมูล (Scatter) ว่าเป็นอย่างไร

2.5.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโต คือ กราฟแท่งที่เรียงลำดับขนาดของข้อมูล เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบดูว่าหัวข้อของข้อมูลแต่ละชุด มีความสำคัญมากน้อยแตกต่างกันอย่างไรเพื่อเป็น แนวทางในการเลือกหัวข้อเรื่องที่สำคัญ หรือมีความรุนแรงมากที่สุดมาแก้ไขปรับปรุงก่อน แผนภาพพาเรโตมักจะใช้แสดงข้อบกพร่อง หรือความเสียหายอันเกิดจากสาเหตุอื่นๆ เพื่อจะได้นำมาพิจารณาแก้ไขปรับปรุงงานต่อไป

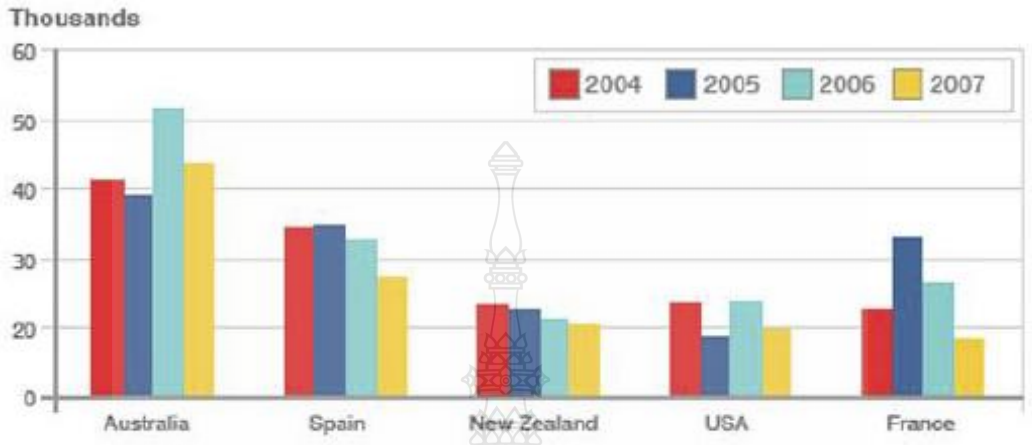
2.5.4 ผังเหตุและผล (Cause-effect Diagram)

ผังเหตุและผล หรือผังก้างปลา เป็นแผนภาพสำหรับวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพของเครื่องจักร เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ เป็นประจำ การวิเคราะห์สาเหตุนั้น ได้มาจากการระดมความคิด สาเหตุต่าง ๆ ส่วนใหญ่เกิดจากสาเหตุหลัก 4 ประการ คือ คน วัตถุดิบ เครื่องจักร และวิธีการ โดยแต่ละสาเหตุยังเกิดจากสาเหตุย่อยๆ อีกมากมาย เช่น คนแตกต่างกัน เนื่องจากพื้นฐานการศึกษา ความชำนาญ อุปนิสัย สุขภาพ ความตั้งใจ สภาพแวดล้อม และอื่นๆ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ สามารถนำมาเขียนแผนภาพ โดยมีลักษณะคล้ายก้างปลา

2.5.5 กราฟ (Graph)

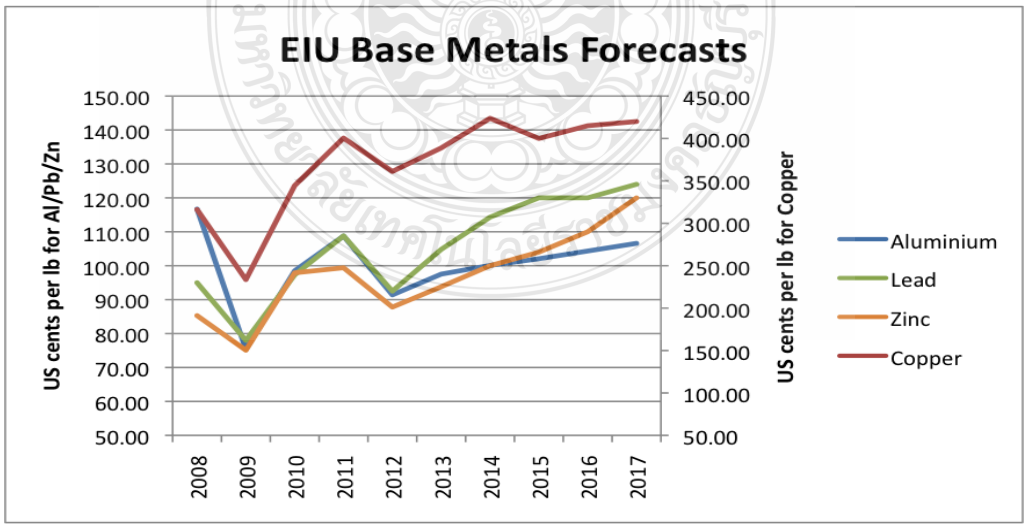
กราฟเป็นส่วนหนึ่งของรายงานต่างๆ ที่ใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆ ได้ดี สะดวกต่อการแปลความหมาย และสามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูล ด้วยวิธีอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะกราฟสามารถมองเห็นถึงลักษณะของข้อมูลต่างๆ ได้ทันที จากเส้น รูปภาพ แท่งสี่เหลี่ยม และวงกลม ซึ่งการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟนี้แบ่งออกได้หลายประเภทคือ

1) กราฟแท่ง (Bar Chart) แผนภูมิประเภทนี้เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลต่างชนิดในเวลาเดียวกัน หรือชนิดเดียวกันแต่ต่างเวลากัน ประเด็นสำคัญคือต้องเป็นข้อมูลที่มีหน่วยเดียวกัน ดังภาพที่ 2.35 เช่น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ล้านบาทต่อกิโลกรัม เป็นต้น



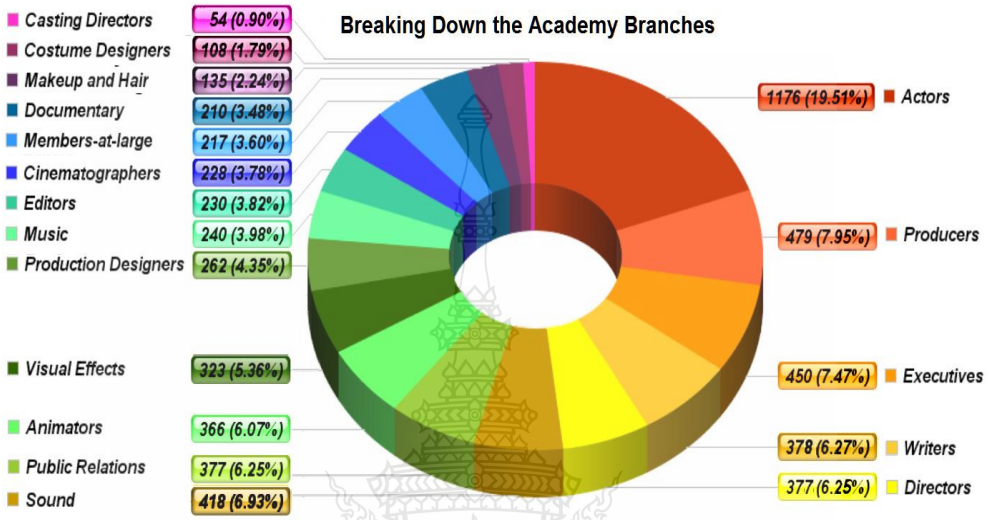
ภาพที่ 2.35 กราฟแท่ง [18]

2) กราฟเส้น (Line Graph) เหมาะสำหรับการนำเสนอความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งผ่านกาลเวลาหรือที่เรียกว่า ข้อมูลอนุกรมเวลา โดยทั่วไปนิยมแสดงข้อมูลจากอดีตทางด้านซ้าย ข้อมูลจากปัจจุบันทางด้านขวา และควรเป็นข้อมูลที่มีการเก็บบันทึกเป็นระยะเวลาสม่ำเสมอ เช่น รายไตรมาสหรือรายเดือน เพราะการลากจุดเชื่อมจุดข้อมูลแต่ละจุดเป็นเส้นย่อมทำให้ผู้อ่านคาดหวังความต่อเนื่องของข้อมูล ดังภาพที่ 2.36



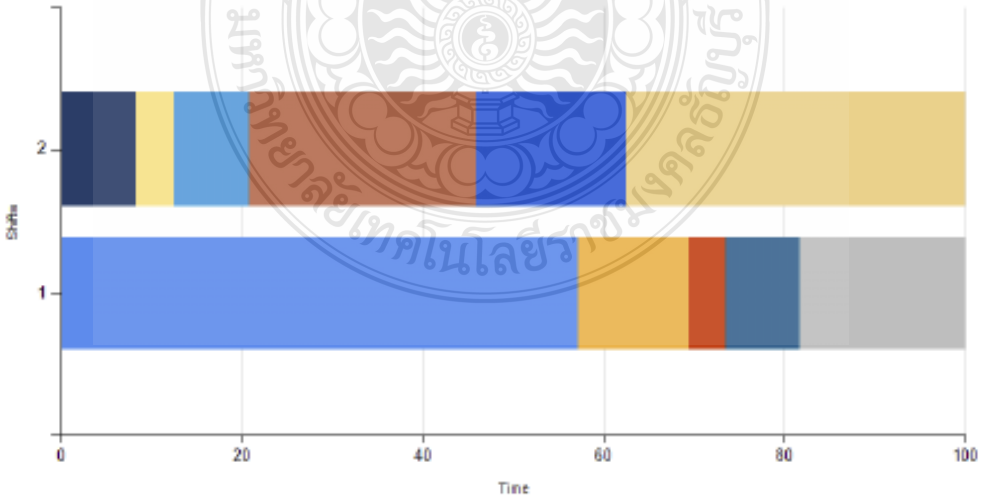
ภาพที่ 2.36 กราฟเส้น [19]

3) กราฟวงกลม (Pie Graph) เหมาะสำหรับการสื่อสัดส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ของข้อมูลในประเด็นเดียวกัน และช่วงเวลาเดียวกัน โดยจำเป็นต้องรวมกันได้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2.37



ภาพที่ 2.37 กราฟวงกลม [20]

4) กราฟเข็มขัด (Band Graph) การใช้งานคล้ายกับกราฟวงกลมคือ เหมาะสำหรับการสื่อสัดส่วนคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่การแสดงผลจะคลายกับกราฟแท่ง ดังภาพที่ 2.38



ภาพที่ 2.38 กราฟเข็มขัด [18]

2.5.6 แผนภูมิกระจาย (Scatter Diagram)

แผนภูมิกระจายเป็นแผนภูมิที่แสดงถึงลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัวว่าลักษณะความสัมพันธ์เป็นอย่างไร ผลของตัวแปรตัวหนึ่งมีผลกับตัวแปร อีกตัวหนึ่งอย่างไร ลักษณะของแผนภูมิกระจายโดยทั่วไป แสดงเป็นกราฟโดยให้แกน X แทนตัวแปรหนึ่ง และแกน Y แทนอีกตัวแปรหนึ่ง จากข้อมูลที่ได้จะนำไปเขียนเป็นจุดลงในกราฟแล้วดูความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยควรมีตัวแปรอย่างน้อย 30 คู่ จากกลุ่มของข้อมูลในแผนภูมิการกระจายสามารถหาความสัมพันธ์ของข้อมูลแกน X และ Y สำหรับทางสถิติเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า สหสัมพันธ์ โดยกำหนดให้ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสิ่งตัวอย่าง

2.5.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิตเพื่อการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสินค้าที่ผลิต โดยแผนภูมิควบสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบคือ

1) แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Variable Control Chart) ใช้สำหรับค่าที่วัดได้ ที่อาจเป็นขนาด เวลา มิติ น้ำหนัก อุณหภูมิ ความแข็ง ความต้านทาน เป็นต้น ตัวแสดงผลเป็นรูปกราฟ 2 รูปคือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (Average Control Chart : $\overline{X}$ Chart) และ แผนภูมิควบคุมค่าพิสัย (Range Control Chart : R Chart)

2) แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลแบบช่วง (Attribute Control Chart) ใช้กับข้อมูลประเภทการนับ เช่นจำนวนข้อผิดพลาด ของเสีย ข้อบกพร่อง แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 2 ประเภทกราฟ

(1) P และ NP Charts ทั้งสองแผนภูมิเป็นเรื่องของผลิตภัณฑ์บกพร่อง

(2) C และ U Control Charts ทั้งสองแผนภูมิใช้ในการพิจารณาข้อบกพร่อง

2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 2 กลุ่มประชากร โดยการทดสอบความมีนัยสำคัญจะต้องทำการทดสอบสมมติฐานหลายครั้ง เช่น การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากร 3 กลุ่มประชากร ต้องเปรียบเทียบ μ_1 กับ μ_2 และ μ_2 กับ μ_3 และ μ_1 กับ μ_3 จะเห็นได้ว่าต้องทำการทดสอบ 3 รอบ และส่งผลให้ระดับนัยสำคัญ $\alpha_{รวม}$ จะมีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ α_i จากการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากร 3 กลุ่มประชากรจะทำให้ค่า α_i จากค่า 0.05 เพิ่มขึ้นเป็น $\alpha_{รวม}$ เท่ากับ 0.1426 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะแบ่งความเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยออกเป็น 2 ส่วนคือ ความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากชนิดของวิธีปฏิบัติ และความเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในค่าสังเกตที่สนใจ หรือเป็นการแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน คือ การแยกตามความแปรปรวนหรือความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ความผันแปรระหว่างประชากร และความผันแปรภายในประชากรเดียวกัน โดยความผันแปรทั้งสองส่วนนั้นเป็นความผันแปรที่เกิดขึ้นอย่างสุ่ม อาทิการสนใจที่จะศึกษาความสามารถในการรับแรงดึงของยางที่ผลิดจากกระบวนการผลิต 5 กระบวนการ ดังนั้นความผันแปรของความสามารถในการรับแรงดึงของยางก็มาจาก 1) ความผันแปรของ

ความสามารถในการรับแรงดึงของยางของค่าสังเกตในแต่ละกระบวนการ และ 2) ความผันแปรอันเนื่องจากกระบวนการผลิต

ถ้าความผันแปรระหว่างประชากรมีค่ามาก เมื่อเทียบกับความผันแปรภายในประชากรเดียวกัน แสดงว่าความแตกต่างระหว่างประชากรมากกว่าความแตกต่างภายในประชากรเดียวกัน ดังนั้นสามารถสรุปสมมติฐานได้ว่า ปฏิเสธ H_0 หมายความว่ามีค่าเฉลี่ยประชากรอย่างน้อย 1 ประชากรที่แตกต่างจากประชากรอื่น แต่ทางกลับกัน ถ้าความผันแปรภายในประชากรเดียวกันมีค่ามากกว่าความผันแปรระหว่างประชากร สามารถสรุปสมมติฐานได้ว่า ค่าเฉลี่ยประชากรที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกัน หรือยอมรับ H_0 นั่นเอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว หมายถึง การจำแนกข้อมูลด้วยความแตกต่างในลักษณะเดียวของข้อมูลที่สนใจ อาทิ อุณหภูมิการเผาแก้วเซรามิคที่ใช้ในการผลิตแก้วเซรามิค โดยอาจมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากลักษณะของเตาเผา โดยเรียกว่าวิธีปฏิบัติ (Treatment) ทั้งนี้จำนวนตัวอย่างที่เลือกด้วยวิธีสุ่มในแต่ละประชากรจะมีจำนวนเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1) การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ k วิธีปฏิบัติ โดยการสุ่มตัวอย่าง k กลุ่มอย่างเป็นอิสระต่อกัน แล้วกำหนดวิธีปฏิบัติให้ตัวอย่างแต่ละกลุ่มอย่างสุ่ม

2) การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในกลุ่ม (Randomized Block Design; RBD) เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบ k วิธีปฏิบัติ โดยแบ่งหน่วยทดลองออกเป็น k กลุ่มต่อชุด โดยให้แต่ละกลุ่มมีจำนวนหน่วยทดลองเท่ากับจำนวนวิธีปฏิบัติ และให้แต่ละวิธีปฏิบัติมีจำนวนหน่วยทดลองเท่ากัน คือ b หน่วย หรือเรียกว่า b บล็อก ให้หน่วยทดลองภายในแต่ละบล็อกมีลักษณะคล้ายคลึงกันมากที่สุด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถทำได้และเชื่อมั่นในผลการทดสอบสมมติฐานได้ เมื่อข้อสมมติทั้ง 3 ข้อดังนี้เป็นจริง คือ

1) การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจากประชากรที่ถูกเลือกมาอย่างสุ่มและเป็นอิสระต่อกัน

2) ประชากรทุก k ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

3) ค่าความแปรปรวนของทุกประชากรมีค่าเท่ากัน

สมมติตัวอย่างของข้อมูลว่าประชากรจำนวน k ชุด เป็นอิสระต่อกัน และมีค่าเฉลี่ยของทุกประชากรการแจกแจงแบบปกติ และค่าความแปรปรวนของทุกประชากรมีค่าเท่ากันตามตารางที่ 2.3 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างข้อมูลของประชากรจำนวน k ชุด

Replicate (i)	Treatment (j)					$T_{i.}$
	1	2	3	...	k	
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{1k}	$T_{1.}$
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	...	X_{2k}	$T_{2.}$
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	...	X_{3k}	$T_{3.}$
...	...	...	...	...	...	...
n	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	...	X_{nk}	$T_{n.}$
$T_{.j}$	$T_{.1}$	$T_{.2}$	$T_{.3}$	...	$T_{.k}$	$T_{..}$

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

แหล่งของการแปรผัน	ผลบวกกำลังสอง	องศาอิสระ	ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสอง	ค่าสถิติ (f)
วิธีปฏิบัติ (Treatment)	SS_{TR}	k-1	$MS_{TR} = SS_{TR} / (k-1)$	$f = MS_{TR} / MS_{TR}$
ความคลาดเคลื่อน (Error)	SS_E	k(n-1)	$MS_E = SS_E / k(n-1)$	-
ทั้งหมด (Total)	SS_T	nk-1	-	-

โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้ กรณีที่ค่า $f > f_{\alpha,k-1,k(n-1)}$ แสดงว่าต้องปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ α และกรณีที่ค่า $f \leq f_{\alpha,k-1,k(n-1)}$ แสดงว่าต้องยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ α

2.7 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment ; DOE) เป็นวิธีการค้นหาผลกระทบจากหลายปัจจัยที่ส่งผลพร้อมกันต่อตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่เราทำการศึกษา การออกแบบการทดลองประกอบด้วยรายการทดสอบ โดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษาและทำการบันทึกค่าตอบสนองแต่ละรายการทดสอบ (Run) ผู้ทดสอบนิยมนำการออกแบบการทดลองเพื่อค้นหาเงื่อนไขของกระบวนการ หรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพ เพื่อกำหนดตั้งค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โปรแกรม Minitab สามารถออกแบบการทดลองได้ 4 ประเภท คือ Factorial, Response surface, Mixture และ Taguchi โดยสามารถสร้างแบบการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และแสดงผลในรูปแบบของกราฟ

เมื่อโปรแกรมสร้างแบบการทดลองแล้ว ผู้ทดสอบสามารถนำแบบการทดลองนั้นไปทำการทดลอง และป้อนค่าของผลการทดลองลงในโปรแกรม จากนั้นโปรแกรม Minitab จะทำการวิเคราะห์การทดลอง ตลอดจนแสดงผลในรูปแบบของกราฟเพื่ออธิบายผลการทดลอง

2.7.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของโปรแกรม Minitab

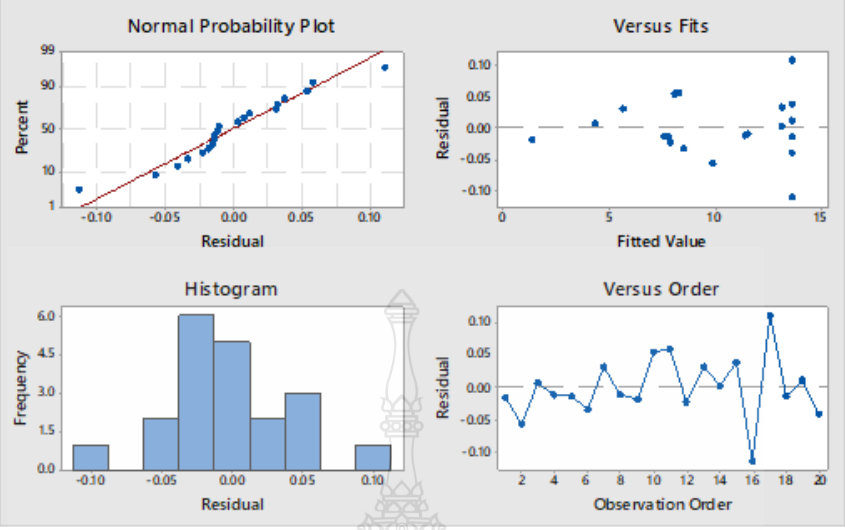
เมื่อสร้างแบบการทดลองและเก็บผลการทดลองตามแบบการทดลองของโปรแกรมแล้ว โปรแกรม Minitab จะคำนวณตัวแบบ (Model) และสร้างกราฟ สำหรับการประเมินอิทธิพลของปัจจัย โดยพิจารณาผลของตัวแบบและกราฟที่ได้ เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง โปรแกรมจะแสดงผลบนหน้าต่าง Session ของโปรแกรม รวมถึงแสดงกราฟอิทธิพลจากปัจจัยทั้งสอง และแสดงกราฟเพื่อค้นหาว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลมากหรือน้อยต่อกระบวนการ จากภาพที่ 2.39 แสดงผลผลกระทบจากองศาของเม็ดมีดกลึง (CBN insert) ที่แตกต่างกัน 6 ระดับ สำหรับการกลึงชิ้นงานจากงานหล่อโลหะว่าส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานแตกต่างกันอย่างไร และสามารถสรุปได้จากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 และน้อยกว่าค่า α แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของชิ้นงานที่กลึงด้วยองศาของเม็ดมีดกลึงอย่างน้อย 1 ประชากรแตกต่างจากประชากรอื่น

One-way ANOVA: Ra (µm) versus CBN insert (µm)

```
Source           DF       SS       MS      F      P
CBN insert (µm)   5  1.11301  0.22260  31.47  0.000
Error            24  0.16974  0.00707
Total            29  1.28275

S = 0.08410   R-Sq = 86.77%   R-Sq(adj) = 84.01%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev   +---------+---------+---------+---------
 0     5  0.43760  0.01199          (---*---)
 5     5  0.69960  0.04600                    (---*---)
10     5  0.44620  0.07153          (---*---)
15     5  0.28600  0.02503   (---*---)
20     5  0.60900  0.15322                (--*---)
25     5  0.87260  0.10467                          (---*---)
                  +---------+---------+---------+---------
                0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.08410
```

ภาพที่ 2.39 ตัวอย่างการแสดงผลของโปรแกรม Minitab

การตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของข้อมูลที่นำมาทดสอบว่าสามารถการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนได้หรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากกราฟ Residual Plots for Defect rate ตามภาพที่ 2.40 โดยพิจารณากราฟ Normality Probability Plots ว่าจุดของข้อมูลค่อนข้างเกาะใกล้เส้นตรง แสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติ จากนั้นพิจารณากราฟ Versus Fits ว่าจุดของข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบเส้นกึ่งกลางและไม่มีลักษณะรูปแบบคล้ายลำโพง แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ และพิจารณากราฟ Versus Order ว่าจุดของข้อมูลไม่มีความผิดปกติในลักษณะรัน แนวโน้ม หรือวัฏจักร แสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติอย่างสุ่ม และสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน



ภาพที่ 2.40 กราฟ Residual Plots for Defect rate

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารัมภ์ บุญมี รัตน บริสุทธิกุล และเลิศฤทธิ์ ชื่นเจริญ [19] ทำการศึกษาพฤติกรรมการหดตัวและขยายตัวระหว่างการแข็งตัวของเหล็กหล่อเทา เหล็กหล่อแกรไฟต์ตัวหนอน และเหล็กหล่อเหนียว โดยอาศัยวิธีการวัดการเคลื่อนที่เชิงเส้น ซึ่งประกอบด้วยแบบหล่อทรายทรงกลมที่ผลิตด้วยกรรมวิธีแอดดิทีฟห่อหุ้มด้วยเปลือกเหล็กกล้าซึ่งมีเทอร์โมคัปเปิลและแท่งควอตซ์ ผลการทดลองพบว่าพฤติกรรมการหดและขยายตัวของเหล็กหล่อทั้ง 3 ประเภท ต่างกันเล็กน้อย โดยการปริมาณการขยายตัวและเวลาการขยายตัวของแกรไฟต์เพิ่มขึ้นตามคาร์บอนสมมูลที่เพิ่มขึ้น และพฤติกรรมการแข็งตัวของเหล็กหล่อแต่ละประเภทไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

มงคล แก้วนพรัตน์ [20] ทำการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจากแผนภูมิก้างปลา และตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน พบว่าปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุนได้แก่ อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และการออกแบบแม่พิมพ์โลหะ ผลการทดลองด้วยโปรแกรมพบว่าเมื่อทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลง

นุชธนา พูลทอง [21] ทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุผสมและอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างและสมบัติทางกลของเหล็กหล่อเทาที่หล่อด้วยกระบวนการปกติเปรียบเทียบกับเหล็กหล่อที่ผ่านการกวนในสถานะที่เป็นโลหะกึ่งแข็ง ผลการทดลองพบว่าเหล็กหล่อเทาที่หล่อด้วยกระบวนการปกติที่มีการเติมธาตุผสมมีความแข็ง (hardness) และความแข็งแรง (tensile strength) สูงกว่าเหล็กหล่อเทาที่หล่อด้วยกระบวนการปกติและไม่เติมธาตุผสม และเมื่อนำเหล็กหล่อเทาที่ไม่เติมธาตุผสมผ่านการกวนในสถานะที่เป็นโลหะกึ่งแข็ง พบว่าได้ค่าความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กหล่อเทาที่หล่อด้วยกระบวนการปกติที่มี

การเติมธาตุผสมทุกส่วนผสม เนื่องมาจากโครงสร้าง และปัจจัยที่มีผลสูงที่สุดต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อที่ผ่านการกวนในสถานะที่เป็นโลหะกึ่งแข็งคืออัตราการเย็นตัว

เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ และชาญณรงค์ สายแก้ว [22] ทำการศึกษาหาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดในการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว และวัสดุประสานอื่นๆ มาเป็นส่วนผสม เพื่อให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามความต้องการที่กำหนด และสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัยคือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 เบนโทไนต์ และน้ำ ว่าส่งผลต่อความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกความสามารถในการปล่อยซึมอากาศ และต้นทุนวัตถุดิบ โดยวิธีออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง

นิรันดร์ วุฒิศักดิ์ [23] นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรผลิตกระดาษคราฟท์ โดยใช้หลักการการบำรุงรักษาทวีผล (Total Productive maintenance : TPM) ในกรณีศึกษาเบื้องต้นใช้แผนภูมิพาเราโตในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา และใช้การวิเคราะห์ปัญหาแบบ “ทำไม ทำไม” (Why Why Analysis) เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรหยุดเนื่องจากเกิดการขัดข้องมาทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร

สุพัฒตรา เกษราพงศ์ ประภาพรรณ เกษราพงศ์ และอวยชัย สลัดทุกข์ [24] นำเสนอวิธีการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ (IE Techniques) โดยทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและเลือก 3 ปัญหาหลักตามหลักการของพาเรโต และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียโดยใช้ Why-Why Analysis และปรับปรุงแก้ไขตามสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย

ณิชกุล ไชยศร มาโนช ทองเจือ บรรรหาญ ลิลา และฤภูวัลย์ จันทรสา [25] นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แบบอัตโนมัติโดยการประยุกต์แนวคิด 3G ได้แก่ Genba, Genbutsu, Genjitsu และเทคนิค ECRS งานวิจัยนี้ได้ออกแบบถ้วยจับชิ้นงานแม่เหล็กเพื่อใช้ในการจับยึดชิ้นงานขนาดเล็ก ผลจากการประยุกต์ใช้งานพบว่าถ้วยจับชิ้นงานแม่เหล็กที่พัฒนาขึ้นสามารถจับชิ้นงานขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 313 ชิ้นต่อชั่วโมง เป็น 418 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.55 และสามารถลดพนักงานในขั้นตอนนี้ลงจาก 6 คน เหลือ 3 คน

จิตรลดา เลิศกิตติกุล และนันทชัย กานตานันทะ [26] ทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในเพื่อลดปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ โดยการรวบรวมข้อมูลของการบรรจุแบบอัตโนมัติ และสร้างแผนภูมิก้างปลาสำหรับจำแนกสาเหตุของปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น และเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลมากที่สุด 5 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของลอนกระดาษลูกฟูก การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก อุณหภูมิหม้อกาว แรงดันลมหม้อกาว และระยะการเปลี่ยนไส้กรองหม้อกาว จากนั้นใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย ผลการทดลองพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการเกิดของเสียที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 แต่ 2 ปัจจัยแรกมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น จึงหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของ 3 ปัจจัยสุดท้ายด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ ผลการทดลองพบว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหม้อกาวที่ระดับ 170 องศาเซลเซียส แรงดันลมหม้อกาวที่ระดับ 1.2 บาร์ และระยะการเปลี่ยนไส้กรองที่ 1

สัปดาห์ เมื่อนำระดับของปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในการผลิตจริงร่วมกับระดับของ 2 ปัจจัยแรก คือลอนลูกฟูก F และการเก็บรักษากระดาษลูกฟูกด้วยการห่อพลาสติกฟิล์ม พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ลงจากเดิมร้อยละ 8.43 เหลือร้อยละ 1.80 คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงประมาณ 9 ล้านบาทต่อปี

จากการศึกษาทฤษฎีการหล่อโลหะและงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้ ปัญหาของการหล่อโลหะมีหลากหลายปัญหา ตั้งแต่กระบวนการผลิตแบบหล่อทรายขึ้น อาทิ การกำหนดประเภทของวัสดุผสม อัตราส่วนของวัสดุแบบหล่อทราย การออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม กระบวนการเทน้ำโลหะที่ต้องควบคุมความเร็วในการเทน้ำโลหะ อุณหภูมิของน้ำโลหะ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ รวมถึงกระบวนการหลังจากเทน้ำโลหะแล้ว อาทิ การรื้อแบบหล่อ การตกแต่งงานหล่อ ทั้งนี้ล้วนส่งผลต่อคุณภาพของการหล่อโลหะทั้งสิ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

บริษัทกรณีศึกษาประกอบธุรกิจผลิตชิ้นงานเหล็กหล่อและอลูมิเนียมหล่อให้กับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนงานเหล็กหล่อและอลูมิเนียมหล่อ โดยกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่บริษัทผลิต ได้แก่ ปั๊มน้ำ ปั๊มครัชรถยนต์ มู่เล่รถยนต์ เทอร์โบรถยนต์ ชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์แอร์ กระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการออกแบบแม่พิมพ์และออกแบบไส้แบบของแม่พิมพ์ ผลิตไส้แบบและแม่พิมพ์ตามแบบที่กำหนด นำโลหะตามที่กำหนดมาทำการหลอมเหลวด้วยเตาหลอมไฟฟ้า แล้วเทน้ำโลหะลงแบบหล่อ เมื่อน้ำโลหะเย็นและแข็งตัวก็ทำการแยกชิ้นงานหล่อออกจากแบบหล่อ และเจียรตกแต่งชิ้นงานหลังจากการหล่อ ตรวจสอบคุณภาพและส่งมอบให้กับลูกค้า

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตของบริษัท

บริษัทกรณีศึกษาแบ่งกระบวนการผลิตของบริษัทออกเป็น 5 ส่วนงานหลักคือ แผนกวิศวกรรม (Engineering) แผนกแม่พิมพ์ (Molding) แผนกไส้แบบ (Core Marking) แผนกหลอมโลหะ (Melting) และแผนกตกแต่งชิ้นงาน (Finishing) โดยมีหน้าที่ความรับผิดชอบโดยสังเขปดังนี้

แผนกวิศวกรรม หรือแผนก EN ทำหน้าที่ออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบไส้แบบ และกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงานให้กับแผนกผลิต ตามภาพที่ 3.1

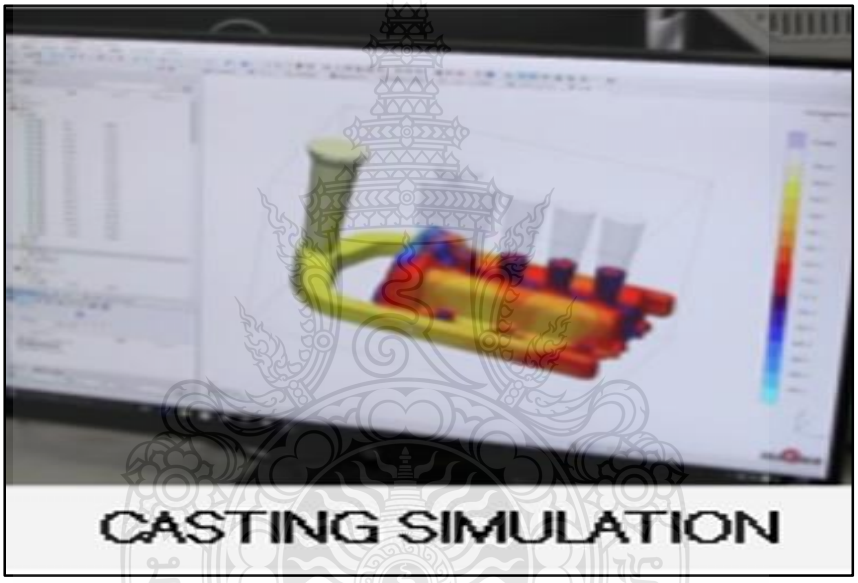
แผนกแม่พิมพ์ หรือแผนก MS ทำหน้าที่ผลิตแม่พิมพ์ตามแบบที่แผนกวิศวกรรมกำหนด โดยแม่พิมพ์ที่ผลิตเป็นแม่พิมพ์แบบทรายที่มีการออกแบบระบบทางวิ่งของน้ำโลหะ (Design or Running System) และระบบป้อนเติม (Gating and Feeding System) โดยแม่พิมพ์เป็นแบบหล่อทรายดำ (Greensand Molding) ที่ประกอบด้วย ทราย (Sand) ตัวประสาน (Binder) จำพวก เบนโทไนต์ (Bentonite) น้ำ (Water) และสารปรุงแต่ง (Additives) เพื่อช่วยให้คุณสมบัติของทรายเป็นไปตามที่ต้องการโดยใช้เครื่องปั๊มแม่พิมพ์แบบทราย รุ่น FCMX ตามภาพที่ 3.2

แผนกไส้แบบ หรือแผนก CM ทำหน้าที่ผลิตไส้แบบ โดยใช้แม่พิมพ์ (Core Box) เป็นแม่แบบสำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไส้แบบ คือ ทรายเคลือบเรซิน (Resin Coated Sand) โดยนำทรายพ่นลงไปในแม่แบบ จากนั้นอบทรายที่อุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไส้แบบและขนาดของไส้แบบ ไส้แบบถูกใช้สำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างค่อนข้างซับซ้อน เช่น การผลิต เทอร์โบรถยนต์ ไส้แบบถูกนำไปใส่ระหว่างโมลด์บนกับโมลด์ล่างของแบบทรายดำ คุณสมบัติของไส้แบบจะทนความร้อนได้ดีและสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ตามที่ต้องการ ตามภาพที่ 3.3

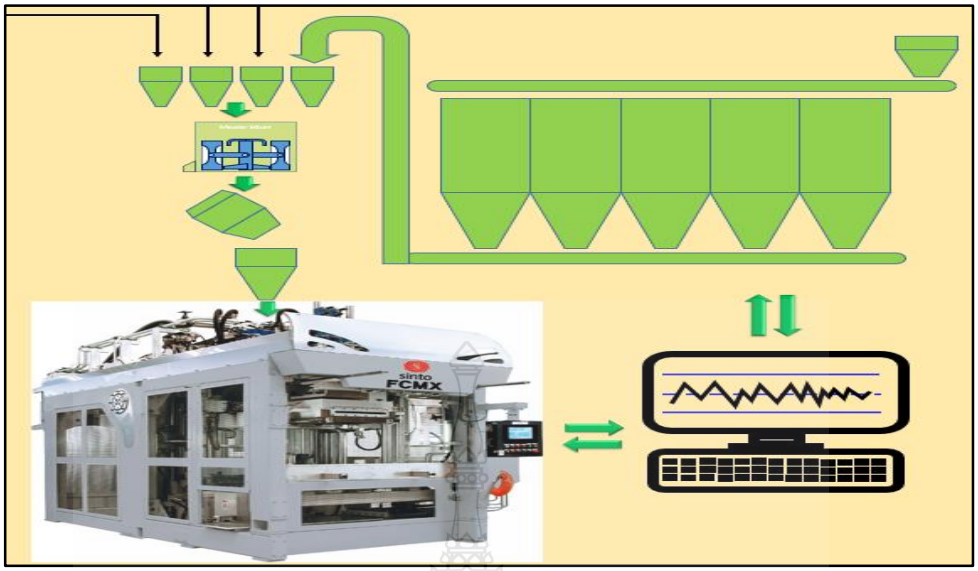
แผนกหลอมโลหะ หรือแผนก MT ทำหน้าที่นำวัตถุดิบจำพวก Steel, Carbon, Silicon, Manganese มาใส่ในเตาหลอมไฟฟ้า (Induction Furnace) ใช้เวลาการหลอมให้เป็นน้ำเหล็กประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยน้ำหนักในการหลอมต่อครั้งประมาณ 3,000 กิโลกรัม หลอมด้วยอุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนสภาพจากของแข็งให้เป็นของเหลว จากนั้นใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์

(Spectrometer) ตรวจสอบส่วนผสมของโลหะเพื่อให้ค่าได้ค่าตามที่ต้องการ เกรดเหล็กที่ใช้ในการผลิตอาทิ FC200, FC250, FC300, FCD450, FCD500, FCD700 ตามภาพที่ 3.4

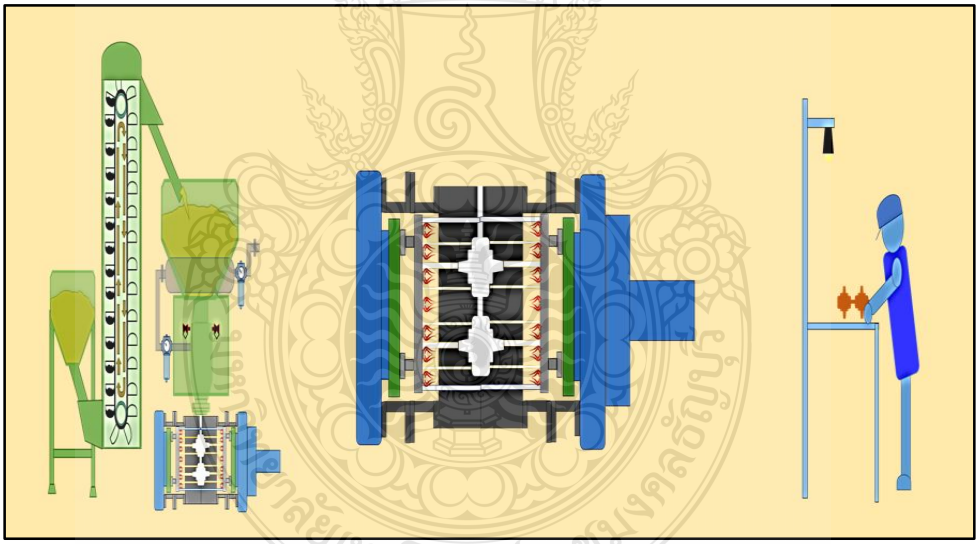
แผนกตกแต่งชิ้นงาน หรือแผนก FS ทำหน้าที่รื้อแบบหล่อ โดยการแยกทางวิ่งน้ำเหล็กกับชิ้นงานออกจากกัน ส่วนทางวิ่งน้ำเหล็กจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ (Return) ส่วนชิ้นงานจะถูกแยกออกมา ลักษณะชิ้นงานจะพบว่ามีทรายติดอยู่ที่ชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานเข้าเครื่องยิงทรายด้วยลูกเหล็ก (Shot Blasting) เพื่อทำความสะอาดผิวงานหล่อ หลังจากได้ชิ้นงานจะพบว่าชิ้นงานมีเนื้อส่วนเกิดออกมา (Parting Line) แล้วทำการตกแต่งชิ้นงานโดยใช้เครื่องเจียร (Grinding) เพื่อให้ชิ้นงานไม่มีครีบบนผิวชิ้นงาน หลังจากการเจียรเรียบร้อยจะทำการตรวจสอบคุณภาพของสินค้า เพื่อคัดแยกของดีและของเสียแยกออกจากกัน และจัดเก็บชิ้นงานตามที่ได้มีการกำหนดมาตรฐานการจัดเก็บ (Packing Standard) เพื่อพร้อมส่งขายให้กับลูกค้า ตามภาพที่ 3.5



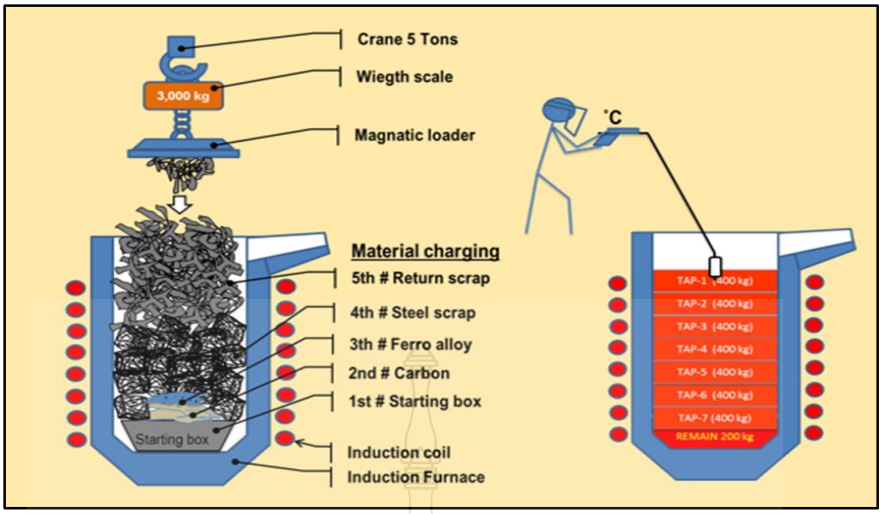
ภาพที่ 3.1 แผนกวิศวกรรม



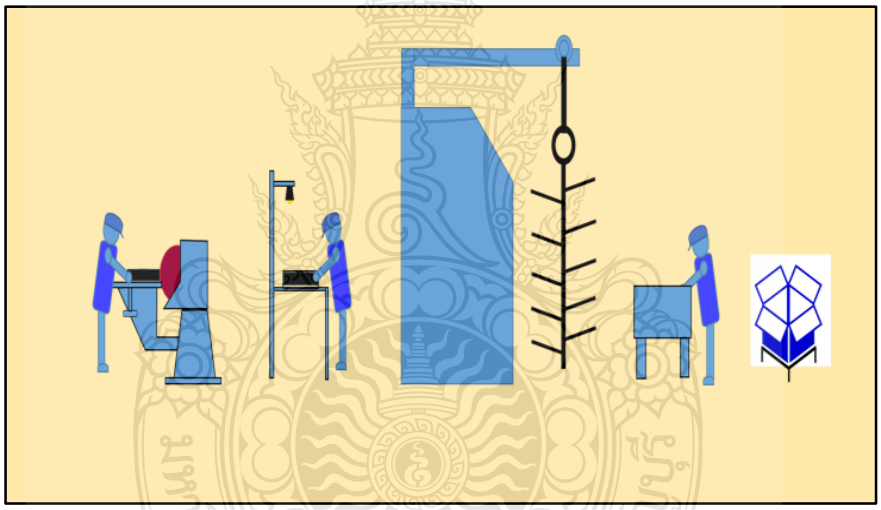
ภาพที่ 3.2 แผนกแม่พิมพ์



ภาพที่ 3.3 แผนกไส้แบบ



ภาพที่ 3.4 แผนกหลอมโลหะ

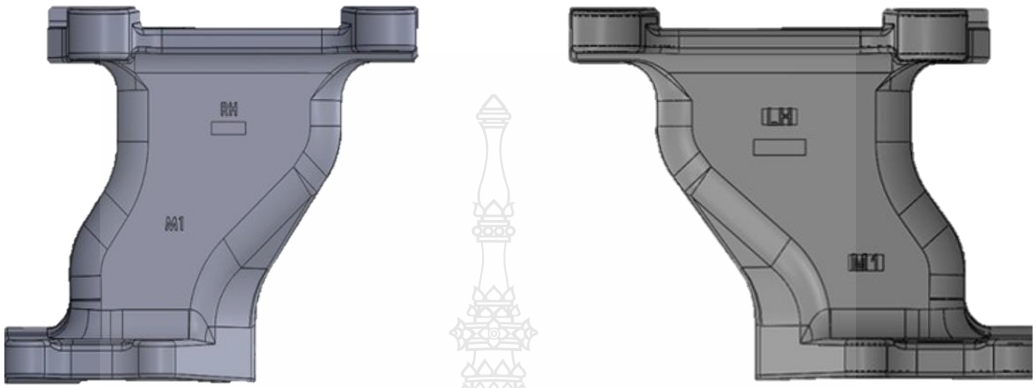


ภาพที่ 3.5 แผนกตกแต่งชิ้นงาน

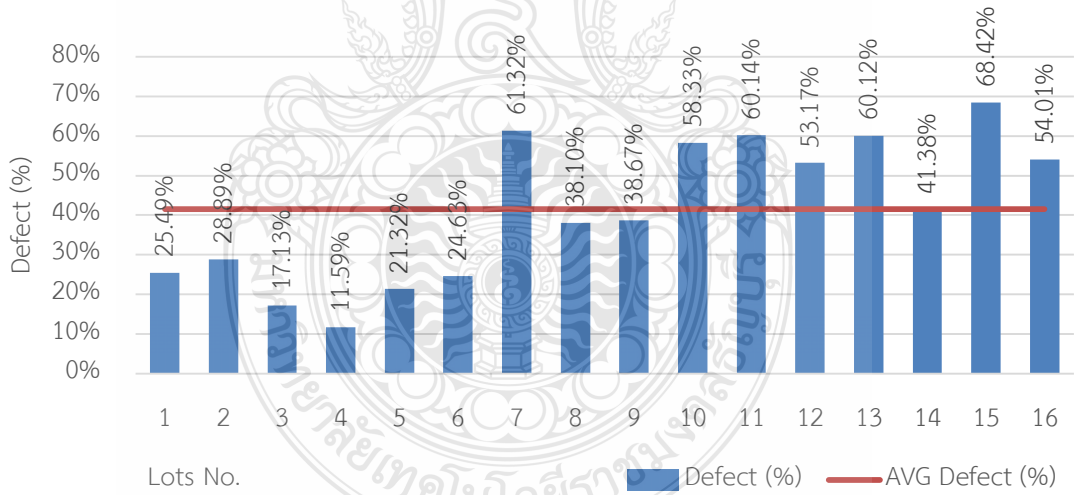
3.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH

ผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์หลักที่บริษัทผลิตให้กับลูกค้ากลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ผลิตภัณฑ์ Steering เป็นหนึ่งในชิ้นส่วนของรถยนต์ ทำหน้าที่ยึดจับระหว่างเครื่องยนต์กับตัวถังรถยนต์ ผลิตจากเหล็กหล่อเทาเกรด FCD450 ตามภาพที่ 3.6 เมื่อทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 พบว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH มีสัดส่วนของเสียแต่ละล็อตการผลิต ตามภาพที่ 3.7 โดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 41.45 และผลิตภัณฑ์ Steering RH มีสัดส่วนของเสียแต่ละล็อตการผลิต ตามภาพที่ 3.8 โดยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 42.17 เมื่อตรวจสอบ

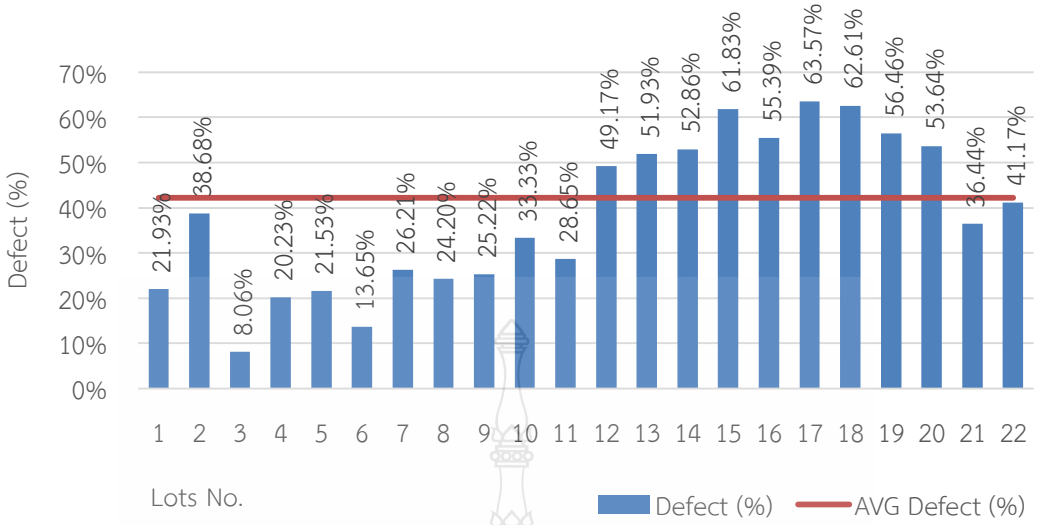
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH พบว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัทที่อยู่ในช่วงการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระดับการผลิตปริมาณมาก และมีแผนการผลิตจากลูกค้าระยะยาวแบบต่อเนื่อง ทำให้งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว



ภาพที่ 3.6 ผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH

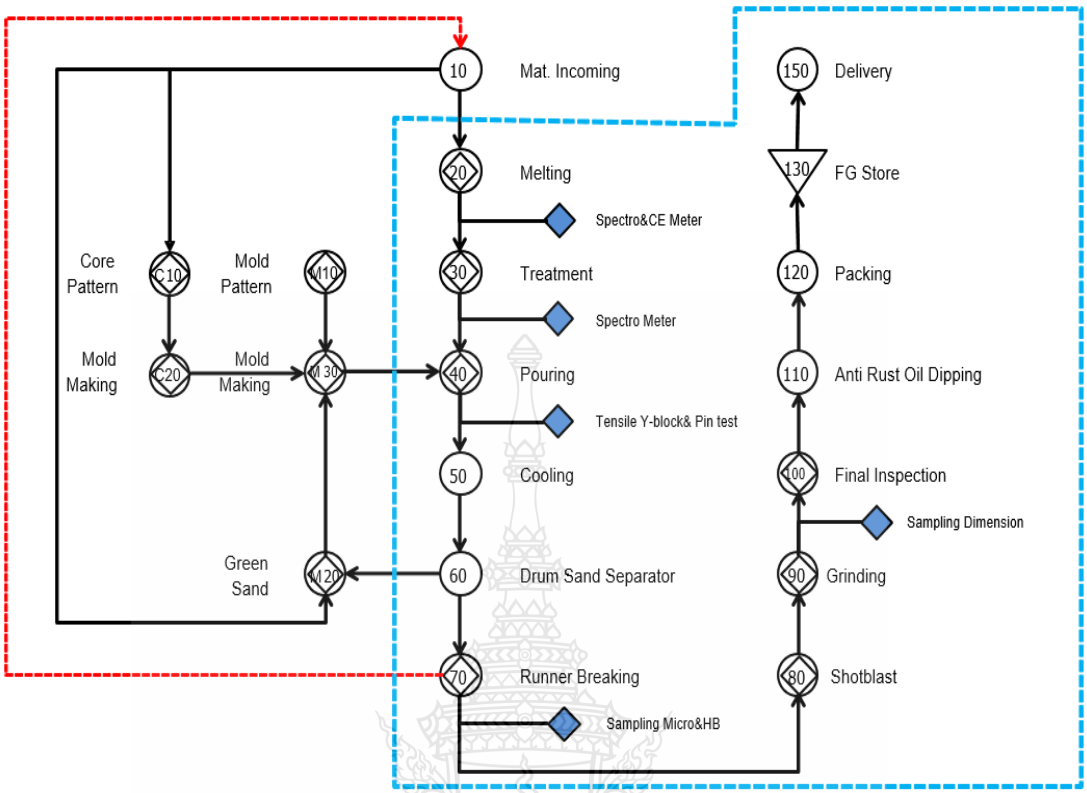


ภาพที่ 3.7 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH



ภาพที่ 3.8 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH เริ่มต้นจากแผนกวิศวกรรมทำการออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบไส้แบบ กำหนดตำแหน่งชิ้นงานในแม่พิมพ์ กำหนดขั้นตอนการผลิต และส่งข้อมูลให้กับแผนกผลิตเพื่อทำการผลิต แผนกผลิตประกอบด้วยแผนกย่อยหลายแผนก โดยเริ่มต้นจากแผนกไส้แบบทำการผลิตไส้แบบของแม่พิมพ์ (Core) โดยใช้ทรายไส้แบบ (Core Sand) เป็นวัตถุดิบหลักทำการอบด้วยความร้อนจนทรายไส้แบบแข็งตัว แผนกแม่พิมพ์ทำการสร้างแม่พิมพ์แบบทราย (Mold) ตามรูปร่างชิ้นงานที่ต้องการด้วยวัตถุดิบ อาทิ ทราย เบนโทไนต์ น้ำ ตามอัตราผสมที่กำหนด แผนกหลอมโลหะทำการหลอมโลหะตามอัตราผสมที่กำหนด โดยใช้ความร้อนในการหลอมจนโลหะกลายเป็นน้ำโลหะเพื่อใช้ในการผลิต ทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำโลหะเพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานตามกำหนด หรือทำการปรับส่วนผสมของน้ำโลหะในกรณีที่คุณภาพของน้ำโลหะไม่ได้ค่ามาตรฐานตามกำหนด เมื่อน้ำโลหะมีสมบัติตามกำหนดแล้วจะทำการเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์แบบทราย และทำการตรวจสอบแรงดึง (Tensile Strength) และค่ามาตรฐานอื่นตามกำหนด ทำการปรับลดอุณหภูมิของชิ้นงานให้เย็นตัวลงให้เท่ากับอุณหภูมิภายนอก นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แบบทราย แผนกตกแต่งชิ้นงานทำการขัดผิวชิ้นงาน (Shot Blast) และเจียระไน (Grinding) ให้ได้ตามมาตรฐานกำหนด ทำการตรวจสอบคุณภาพ เคลือบน้ำมันกันสนิม และจัดเก็บเข้าคลังสินค้ารอการส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป ตามภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH

การศึกษากระบวนการผลิตและการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ทำให้สามารถแบ่งประเภทของเสียจากลักษณะของเสีย และกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดของเสียตามตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH

ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย		จำนวน (ชิ้น)
1	MT	เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	Cold shut	161
2	MT	ชิ้นงานไม่ผสานเป็นเนื้อเดียวกัน	Mis-run	109
3	MS	ผิวงานไม่เรียบ	Sand drop	147
4	MS	ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	Mold broken	233
5	MS	ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	Mold leak	539
6	MS	มีทรายอัดก้อนบนชิ้นงาน	Mold drop	5
7	MS	ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์	Mark lot NG	137
8	FS	การตกแต่งไม่สมบูรณ์	Over grinding	9
9	FS	ชิ้นงานมีรอยยุบ	Dent	13

ตารางที่ 3.1 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH (ต่อ)

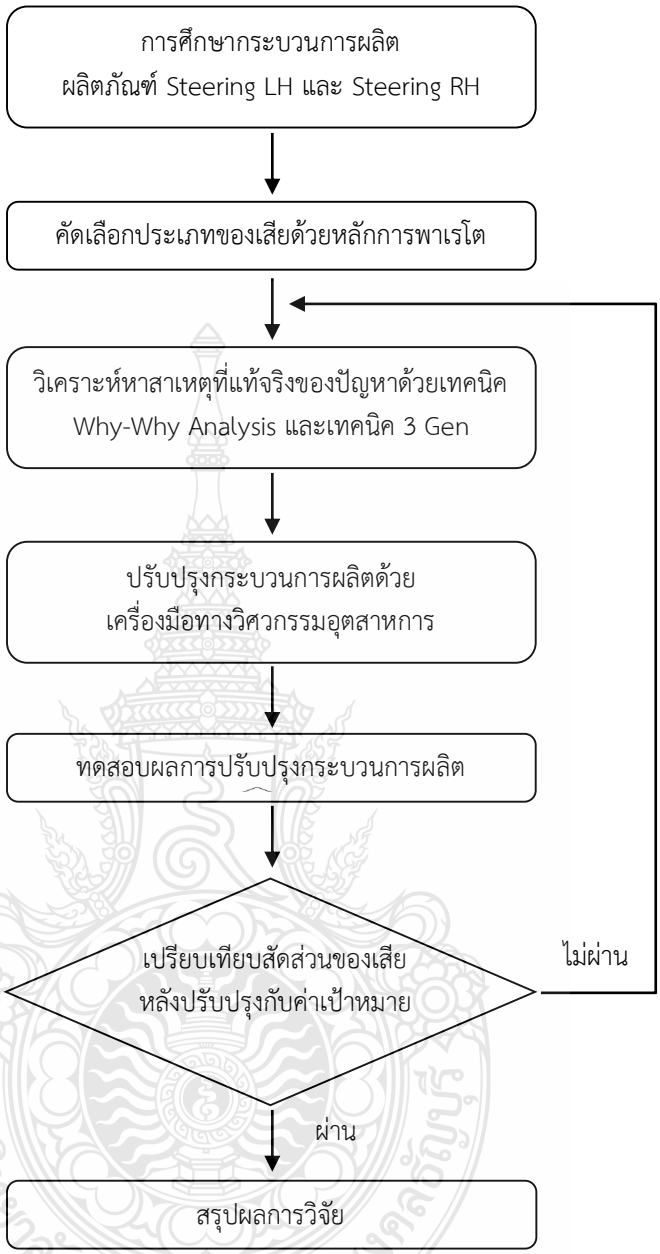
ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย		จำนวน (ชิ้น)
10	EN	ผิวชิ้นงานเป็นรู	Blow hole	1
11	EN	ด้านในเนื้อชิ้นงานไม่เต็ม	Shrinkage	2
12	EN	ชิ้นงานหัก	Legs broken	2
13	EN	ชิ้นงานป็นโพรงอากาศ	Gas at head	40
14	EN	อื่นๆ	Other	13
รวม				1,411

ตารางที่ 3.2 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH

ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย		จำนวน (ชิ้น)
1	MT	เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	Cold shut	796
2	MT	มีรอยทรายไหม้บนผิวชิ้นงาน	Sand burn	19
3	MT	ชิ้นงานไม่ผสานเป็นเนื้อเดียวกัน	Mis-run	220
4	MS	ผิวงานไม่เรียบ	Sand drop	1,095
5	MS	ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	Mold broken	1,267
6	MS	ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	Mold leak	4,485
7	MS	มีทรายอัดก้อนบนชิ้นงาน	Mold drop	6
8	MS	ตัวอักษรตำแหน่งชิ้นงานไม่สมบูรณ์	Mark Cavity NG	26
9	MS	ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์	Mark lot NG	826
10	CM	ผิวชิ้นงานเป็นรอยแตก	Core broken	135
11	FS	การตกแต่งไม่สมบูรณ์	Over grinding	17
12	FS	ชิ้นงานมีรอยยุบ	Dent	106
13	EN	ผิวชิ้นงานเป็นรู	Blow hole	29
14	EN	ด้านในเนื้อชิ้นงานไม่เต็ม	Shrinkage	30
15	EN	แก๊สที่โลโก้	Gas at logo	1
16	EN	ชิ้นงานป็นโพรงอากาศ	Gas at head	71
17	EN	อื่นๆ	Other	206
รวม				9,335

3.3 วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น และหาสาเหตุของปัญหา

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เริ่มต้นโดยการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH และทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 สามารถสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH ทำการผลิตจำนวน 3,404 ชิ้น จาก 16 ล็อตการผลิต และตรวจพบของเสียจากกระบวนการผลิตจำนวน 1,411 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 41.45 โดยสามารถแบ่งประเภทของเสียออกเป็น 14 ประเภท และผลิตภัณฑ์ Steering RH ทำการผลิตจำนวน 22,137 ชิ้น จาก 22 ล็อตการผลิต และตรวจพบของเสียจากกระบวนการผลิตจำนวน 9,335 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 42.17 โดยสามารถแบ่งประเภทของเสียออกเป็น 17 ประเภท แล้วนำหลักการพาเรโต (Pareto Diagram) มาคัดเลือกประเภทของเสียที่มีปริมาณสะสมร้อยละ 80 ของปริมาณของเสียทั้งหมด เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen เมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาทั้งหมดก็เลือกเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการที่เหมาะสมมาทำการแก้ไขปัญหาตามหลักการของ KAIZEN ทดสอบผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต ตามภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4 การเลือกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโต

หลักการพาเรโตมีแนวคิดที่ว่าภายใต้สภาวการณ์ธรรมชาติ สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่สิ่งที่มีความสำคัญน้อยกลับจะมีจำนวนมากมาย (Trivial Many) ดังนั้นการเลือกเฉพาะประเภทของเสียที่มีความสำคัญมากแต่มีจำนวนเพียงเล็กน้อย จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน จากข้อมูลประเภทของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ทำให้สามารถสรุปตามหลักการพาเรโตได้ตามตารางที่ 3.3-3.4 และภาพที่ 3.11-3.12

ตารางที่ 3.3 การจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering LH

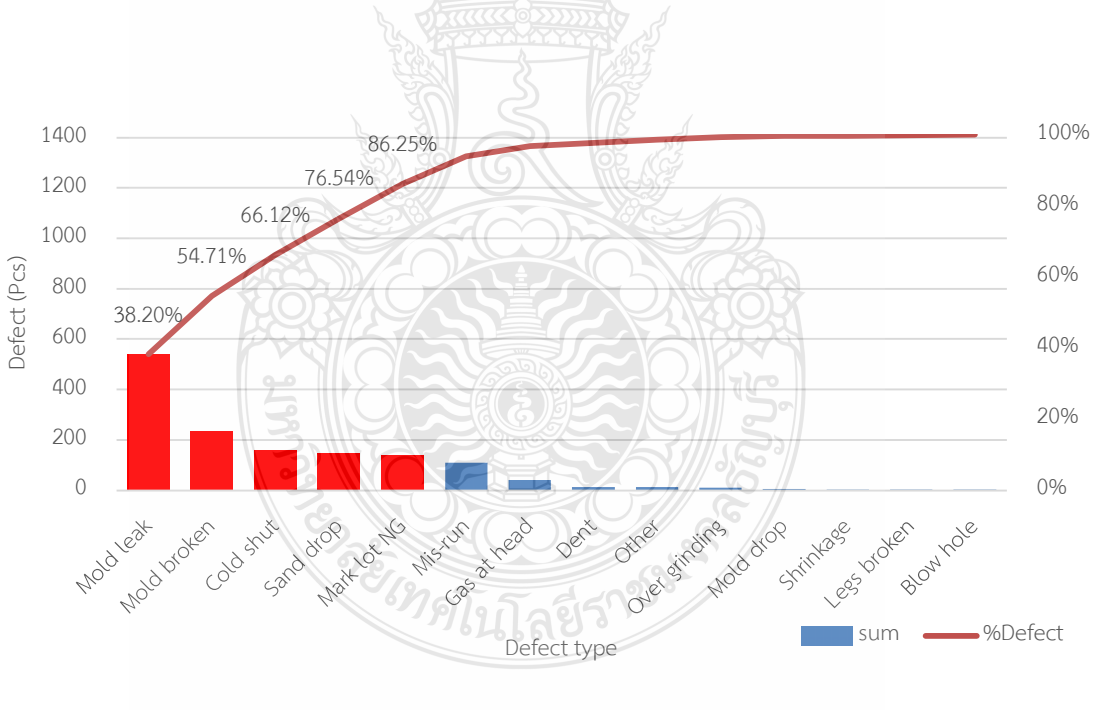
ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวนสะสม (ร้อยละ)
1	MS	ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	539	38.20	38.20
2	MS	ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	233	16.51	54.71
3	MT	เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	161	11.41	66.12
4	MS	ผิวงานไม่เรียบ	147	10.42	76.54
5	MS	ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์	137	9.71	86.25
6	MT	ชิ้นงานไม่ผสานเป็นเนื้อเดียวกัน	109	7.73	93.98
7	EN	ชิ้นงานเป็นโพรงอากาศ	40	2.83	96.81
8	FS	ชิ้นงานมีรอยยุบ	13	0.92	97.73
9	EN	อื่นๆ	13	0.92	98.65
10	FS	การตกแต่งไม่สมบูรณ์	9	0.64	99.29
11	MS	มีทรายอัดก้อนบนชิ้นงาน	5	0.35	99.65
12	EN	ด้านในเนื้อชิ้นงานไม่เต็ม	2	0.14	99.79
13	EN	ชิ้นงานหัก	2	0.14	99.93
14	EN	ผิวชิ้นงานเป็นรู	1	0.07	100.00

ตารางที่ 3.4 การจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering RH

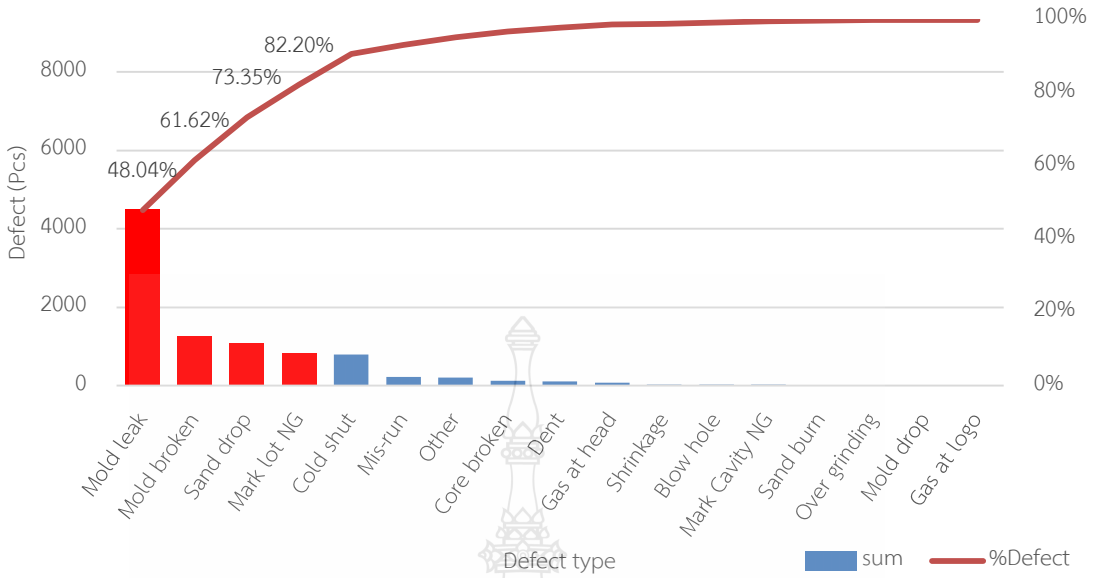
ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวนสะสม (ร้อยละ)
1	MS	ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	4,485	48.04	48.04
2	MS	ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	1,267	13.57	61.62
3	MS	ผิวงานไม่เรียบ	1,095	11.73	73.35
4	MS	ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์	826	8.85	82.20
5	MT	เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	796	8.53	90.72
6	MT	ชิ้นงานไม่ผสานเป็นเนื้อเดียวกัน	220	2.36	93.08

ตารางที่ 3.4 การจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering RH (ต่อ)

ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวนสะสม (ร้อยละ)
7	EN	อื่นๆ	206	2.21	95.29
8	CM	ผิวชิ้นงานเป็นรอยแตก	135	1.45	96.73
9	FS	ชิ้นงานมีรอยยุบ	106	1.14	97.87
10	EN	ชิ้นงานเป็นโพรงอากาศ	71	0.76	98.63
11	EN	ด้านในเนื้อชิ้นงานไม่เต็ม	30	0.32	98.95
12	EN	ผิวชิ้นงานเป็นรู	29	0.31	99.26
13	MS	ตัวอักษรตำแหน่งชิ้นงานไม่สมบูรณ์	26	0.28	99.54
14	MT	มีรอยทรายไหม้บนผิวชิ้นงาน	19	0.20	99.74
15	FS	การตกแต่งไม่สมบูรณ์	17	0.18	99.93
16	MS	มีทรายอัดก้อนบนชิ้นงาน	6	0.06	99.99
17	EN	แก๊สที่โลโก้	1	0.01	100.00



ภาพที่ 3.11 แผนภูมิพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering LH



ภาพที่ 3.12 แผนภูมิพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering RH

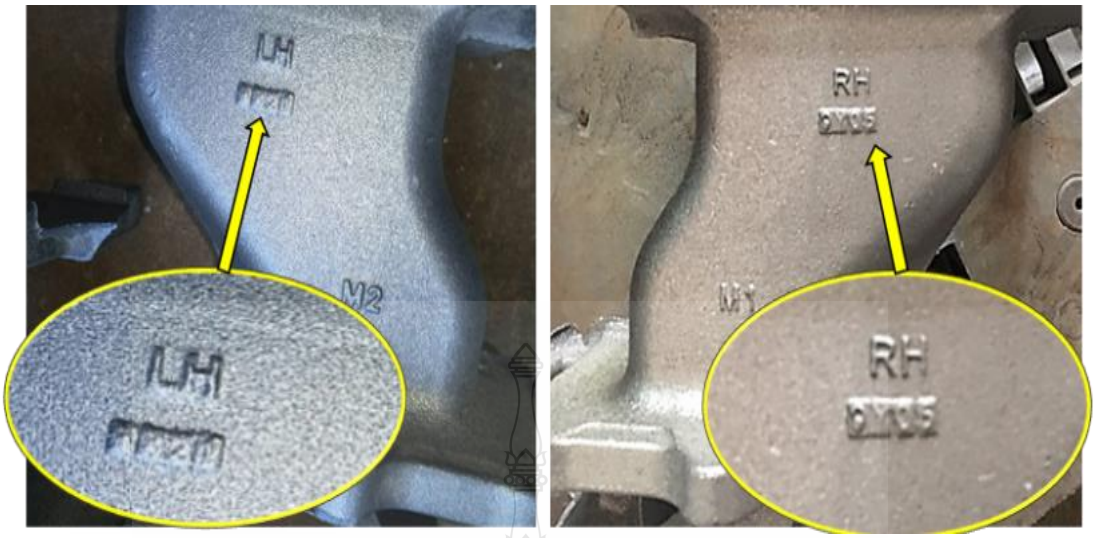
การจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering LH พบว่ามี 5 ประเภทของเสียที่มีปริมาณของเสียสะสมที่ร้อยละ 86.25 จากทั้งหมด 14 ประเภทของเสีย คือ 1) ชิ้นงานไม่เต็มแบบ 2) ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา 3) เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ 4) ผิวงานไม่เรียบ 5) ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์ และการจำแนกประเภทของเสียด้วยหลักการพาเรโตของผลิตภัณฑ์ Steering RH พบว่ามี 4 ประเภทของเสียที่มีปริมาณของเสียสะสมที่ร้อยละ 82.20 จากทั้งหมด 17 ประเภทของเสีย คือ 1) ชิ้นงานไม่เต็มแบบ 2) ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา 3) ผิวงานไม่เรียบ 4) ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์ และสามารถสรุปได้ว่าประเภทของเสียของทั้งผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH เป็นลักษณะของเสียกลุ่มเดียวกันยกเว้นเพียงประเภทของเสียคือ เหล็กเข้าไม่เต็มแบบที่พบในผลิตภัณฑ์ Steering LH โดยลักษณะของเสียทั้ง 5 ประเภทแสดงตามภาพ 3.13 – 3.17

ภาพที่ 3.13 ลักษณะของเสียประเภทชิ้นงานไม่เต็มแบบ

ภาพที่ 3.14 ลักษณะของเสียประเภทชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา

ภาพที่ 3.15 ลักษณะของเสียประเภทเหล็กเข้าไม่เต็มแบบ

ภาพที่ 3.16 ลักษณะของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบ



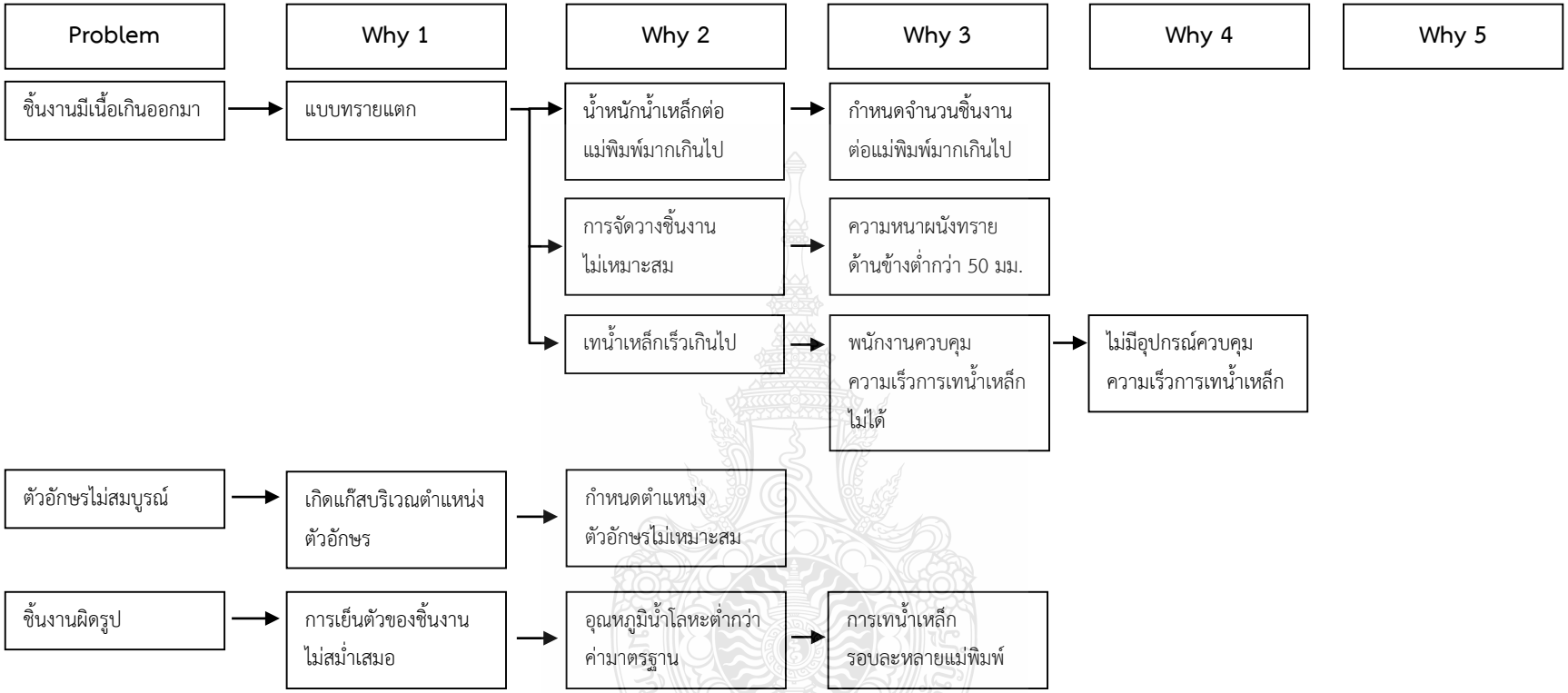
ภาพที่ 3.17 ลักษณะของเสียประเภทตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์

3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen

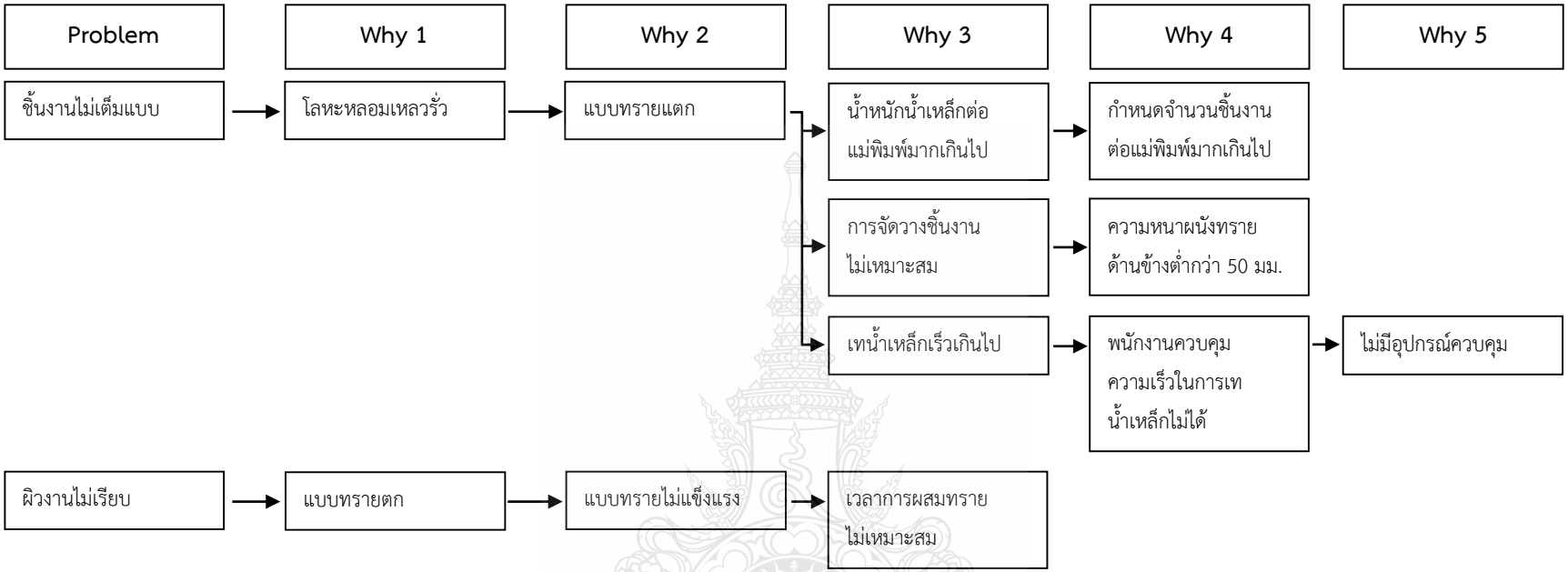
เทคนิค Why-Why Analysis เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริง (Root Cause) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบหรือปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น (Effect) ด้วยวิธีการอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน โดยไม่เกิดสภาพการณ์ตกหล่นและซ้ำซ้อนและไม่จินตนาการเองพยายามค้นหาข้อเท็จจริงที่ถูกต้องและสอดคล้องเพื่อค้นหาว่าสาเหตุที่แท้จริงคืออะไร และนิยมใช้ร่วมกับเทคนิค 3 Gen คือ GENBA (สถานที่จริง) GENBUTSU (ชิ้นงานจริง) และ GENJITSU (ข้อเท็จจริง) ดังนั้นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงจึงมีความสำคัญมาก ทั้งนี้เพื่อการป้องกันการเกิดปัญหาเดิมซ้ำ โดยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงทำลักษณะกิจกรรมกลุ่มย่อย (Small Group Activity) ตามหลักการของ KAIZEN เป็นการรวมกลุ่มคนที่มีส่วนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ประกอบด้วยผู้จัดการแผนกผลิต หัวหน้าแผนกผลิต พนักงานแผนกผลิต และผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ ตามภาพที่ 3.18

ภาพที่ 3.18 กิจกรรมกลุ่มย่อยตามหลักการของ KAIZEN

ผลการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของทั้ง 5 ประเภทของเสียของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen ตามภาพที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen



รูปที่ 3.19 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen (ต่อ)

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen กับของเสียทั้ง 5 ประเภทคือ 1) ชิ้นงานไม่เต็มแบบ 2) ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา 3) ชิ้นงานผิดรูป 4) ผิวงานไม่เรียบ 5) ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์ สามารถสรุปสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาตามตารางที่ 3.5 แต่เนื่องจากบางสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาส่งผลต่อปัญหามากกว่า 1 ปัญหา ทำให้สามารถสรุปสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาทั้ง 5 ประเภท

ประเภทของปัญหา	สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา
1. ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	1. กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป
	2. ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มิลลิเมตร
	3. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก
2. ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์	1. กำหนดตำแหน่งตัวเลขอักษรไม่เหมาะสม
3. เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	1. การเทน้ำเหล็กรอบละหลายแม่พิมพ์
4. ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	1. กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป
	2. ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มิลลิเมตร
	3. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก
5. ผิวงานไม่เรียบ	1. เวลาการผสมทรายไม่เหมาะสม

ตารางที่ 3.6 แนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

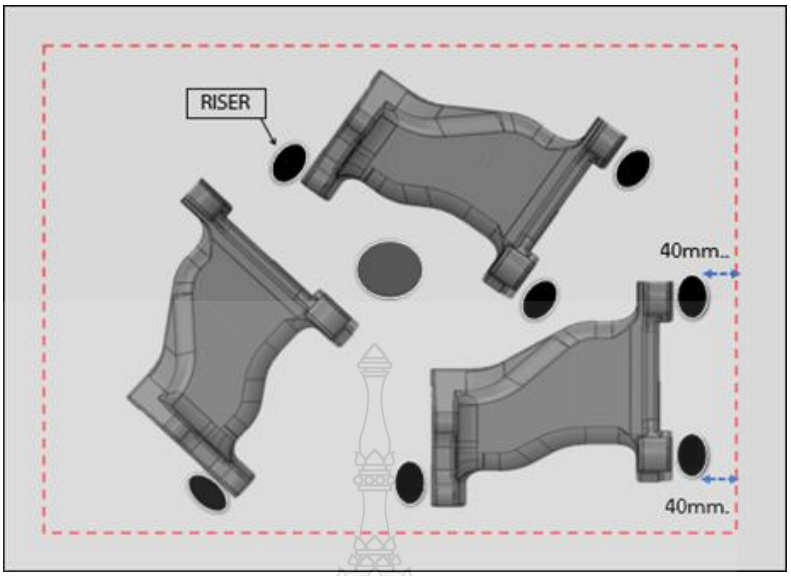
สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น
1. กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป	- ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ใหม่
2. ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มิลลิเมตร	
3. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก	- กำหนดวิธีการ/จัดหาเครื่องมือสำหรับควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก
4. กำหนดตำแหน่งตัวเลขอักษรไม่เหมาะสม	- ปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่
5. การเทน้ำเหล็กรอบละหลายแม่พิมพ์	- กำหนดจำนวนแม่พิมพ์ต่อ 1 รอบการเทน้ำเหล็ก
6. เวลาการผสมทรายไม่เหมาะสม	- กำหนดเวลามาตรฐานของการผสมทรายแบบ

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

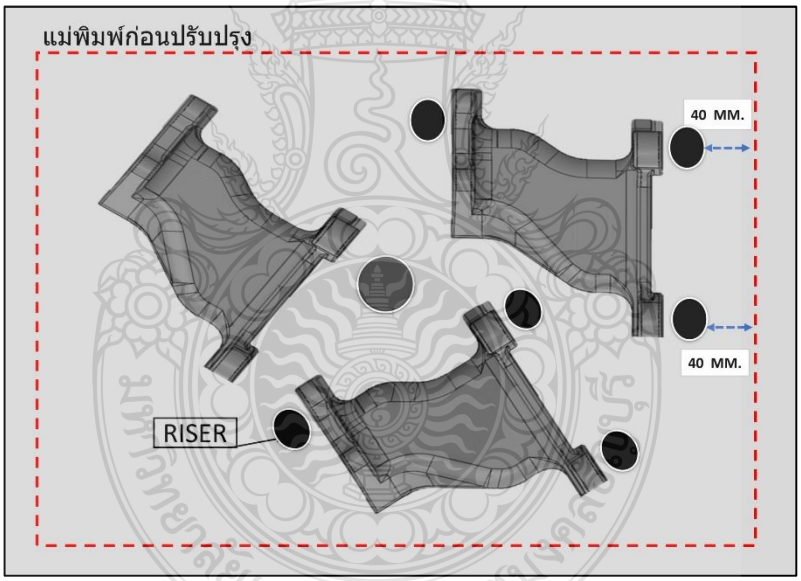
ผลการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาทั้ง 5 ประเภทของเสีย สามารถสรุปสาเหตุที่แท้จริงได้ 6 สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาคือ 1) กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป 2) ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มิลลิเมตร 3) ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วการเทน้ำเหล็ก 4) กำหนดตำแหน่งตัวอักษรไม่เหมาะสม 5) การเทน้ำเหล็กรอบละหลายแม่พิมพ์ 6) เวลาการผสมทรายแบบไม่เหมาะสม และเมื่อทำการหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้ดังนี้ 1) ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ใหม่ 2) กำหนดวิธีการ จัดหาเครื่องมือสำหรับควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก 3) ปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่ 4) กำหนดจำนวนแม่พิมพ์ ต่อ 1 รอบการเทน้ำเหล็ก 5) กำหนดเวลามาตรฐานของการผสมทรายแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงาน

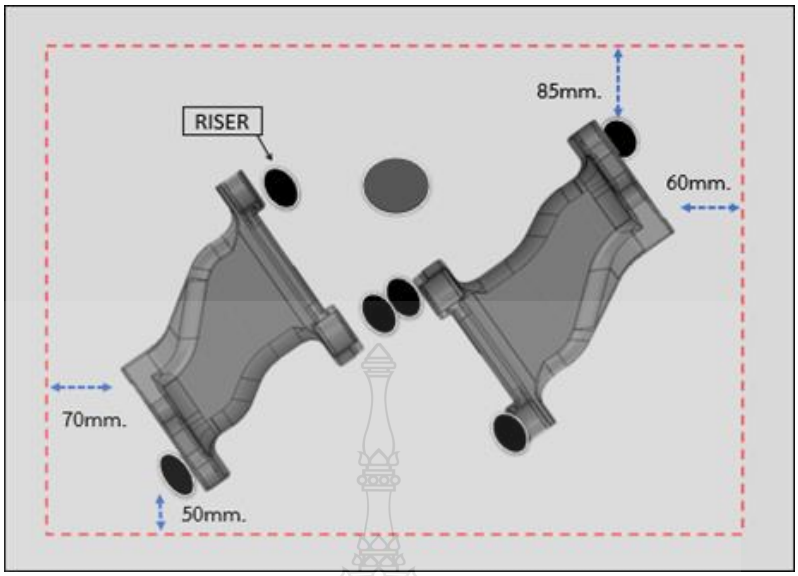
การตรวจสอบตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุงพบว่า แผนกวิศวกรรมออกแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ในแม่พิมพ์จำนวน 3 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ และระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์เพียง 40 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.1-4.2 ทำให้แม่พิมพ์ต้องรับน้ำหนักมากถึง 58 กิโลกรัม ส่งผลทำให้แม่พิมพ์ (แบบทราย) แตกได้ โดยค่ามาตรฐานการรับน้ำหนักของแม่พิมพ์ดังกล่าวอยู่ที่ 50 กิโลกรัม ตามเงื่อนไขสเปคของเครื่องปั๊มแบบทราย ดังนั้นงานวิจัยทำการออกแบบการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ใหม่ โดยอ้างอิงค่ามาตรฐานการรับน้ำหนัก และค่ามาตรฐานของระยะขอบของชิ้นงานกับขอบแม่พิมพ์ให้ไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร คือต้องทำปรับลดจำนวนชิ้นงานให้เหลือ 2 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ ทำให้การรับน้ำหนักของแม่พิมพ์เหลือเพียง 42 กิโลกรัม และปรับตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ให้เหมาะสม โดยระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์น้อยที่สุดคือ 50 มิลลิเมตรดังภาพที่ 4.3-4.4 ทั้งนี้การออกแบบการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ใหม่ส่งผลทำให้อัตราการผลิตต่อแม่พิมพ์ลดลงจาก 3 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ เหลือ 2 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ แต่การเทน้ำเหล็กเข้าแม่พิมพ์เพียง 2 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ ส่งผลทำให้เวลาการผลิตลดลง และทำให้เวลาการผลิตรวมต่อจำนวนชิ้นงานทั้งหมดไม่แตกต่างจากเดิม



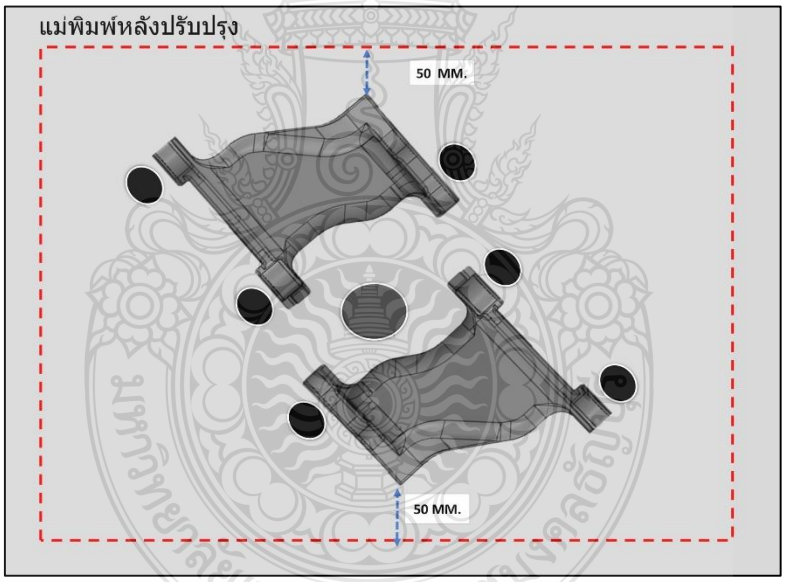
ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering LH ในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering RH ในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering LH ในแม่พิมพ์หลังปรับปรุง

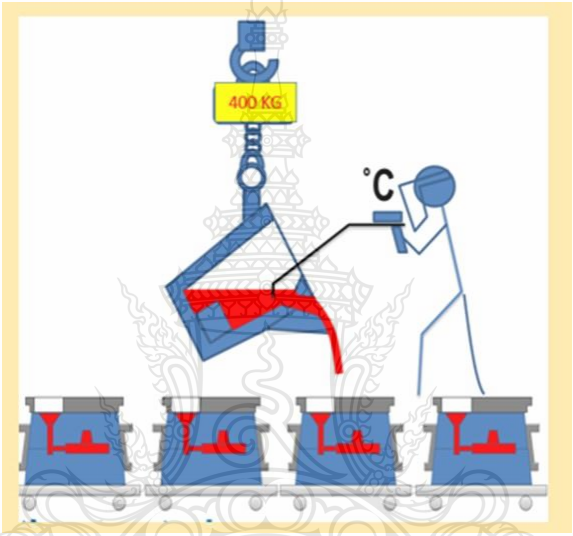


ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งการจัดวางผลิตภัณฑ์ Steering RH ในแม่พิมพ์หลังปรับปรุง

การออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ ให้ระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์ไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.3-4.4 จากการออกแบบพบว่าลักษณะการวางชิ้นงานไม่เหมือนกัน เนื่องจากทางทีมผู้วิจัยได้อ้างอิงลักษณะแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง เนื่องจากการออกแบบการจัดวางแม่พิมพ์ใหม่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงอ้างอิงการจัดวางแม่พิมพ์เดิมใช้ในการปรับปรุงทำให้การวางแบบชิ้นงาน Steering RH และ Steering LH ลักษณะไม่เหมือนกัน

4.2 การเทน้ำเหล็กด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ

แผนกหลอมโลหะกำหนดให้การเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์กระทำโดยพนักงานทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วการเทน้ำเหล็กลงแม่พิมพ์ได้ อีกทั้งยังส่งผลให้ความเร็วในการผลิตมากกว่าเวลามาตรฐานที่ 15 วินาทีต่อแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 4.5 เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการทดสอบ โดยการนำเครื่องเทน้ำเหล็กแบบอัตโนมัติ (Auto Pouring Machine) ที่สามารถกำหนดความเร็วการเทน้ำเหล็กระหว่าง 3.33 กิโลกรัมต่อวินาที (ตามค่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนด) จากสายการผลิตอื่นมาทำการทดสอบ ดังภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบพบว่าสามารถปรับความเร็วและควบคุมความเร็วให้คงที่ได้ และสามารถควบคุมเวลาการผลิตให้เป็นไปตามเวลามาตรฐานที่ 15 วินาทีต่อแม่พิมพ์ได้

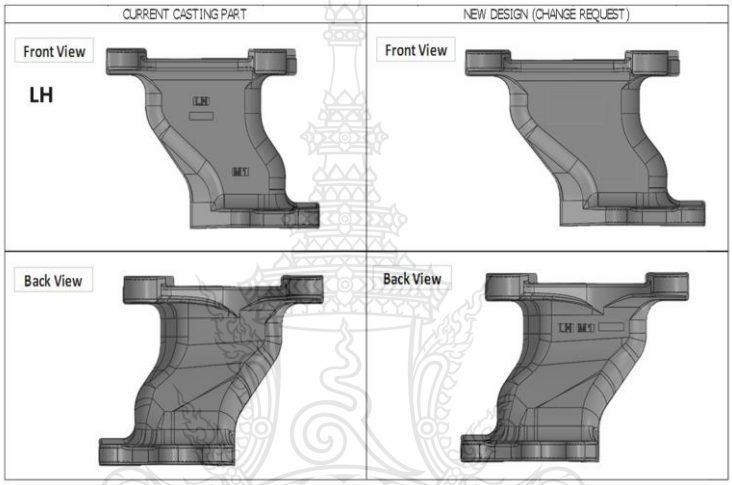


ภาพที่ 4.5 การเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์โดยพนักงาน

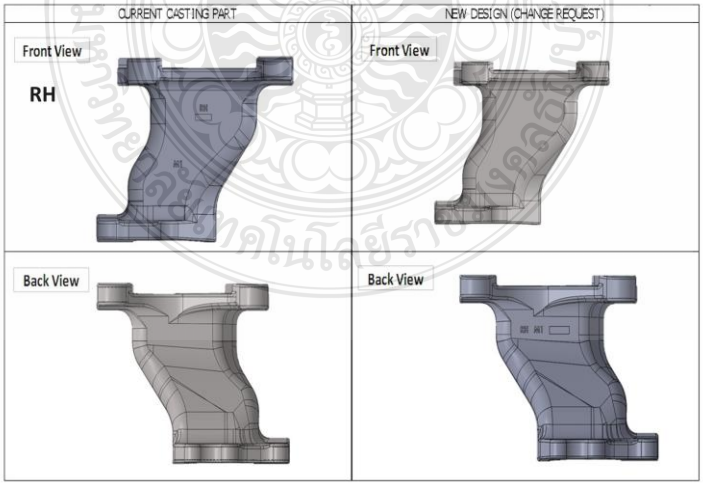
ภาพที่ 4.6 เครื่องเทน้ำเหล็กแบบอัตโนมัติ [27]

4.3 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่

การตรวจสอบตำแหน่งการจัดวางตัวอักษรของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ก่อนปรับปรุงพบว่า ตำแหน่งตัวอักษรวางอยู่ด้านหน้าของชิ้นงาน และตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์จะกำหนดให้ด้านหน้าของชิ้นงานอยู่ด้านบนของแม่พิมพ์ เมื่อทำการเทน้ำเหล็กเข้าแม่พิมพ์ แก๊สที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจะลอยตัวขึ้นไปกระทบกับตัวอักษร ส่งผลทำให้ตัวอักษรไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบการจัดวางตัวอักษรของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ใหม่ทำโดยปรับตำแหน่งการจัดวางตัวอักษรไปอยู่ด้านหลังของชิ้นงาน เพื่อป้องกันแก๊สที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลอยตัวขึ้นไปกระทบกับตัวอักษรดังภาพที่ 4.7-4.8



ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ Steering LH



ภาพที่ 4.8 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ Steering RH

4.4 การกำหนดจำนวนแม่พิมพ์ต่อรอบเทน้ำเหล็ก

กระบวนการหลอมโลหะของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH เริ่มต้นโดยการหลอมเหล็กหล่อเทาเกรด FCD 450 ในเตาหลอมขนาด 3,000 กิโลกรัม แล้วเทน้ำโลหะเข้าเบ้ารับน้ำเหล็ก (Ladle) ขนาด 400 กิโลกรัม และทำการเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ โดยสามารถทำการเทน้ำโลหะได้รอบละ 9 แม่พิมพ์ (แม่พิมพ์ 1 ชุดใช้น้ำโลหะ 42 กิโลกรัม) โดยค่ามาตรฐานของอุณหภูมิก่อนเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ของบริษัทกำหนดที่ 1,400 ±10 องศาเซลเซียส และสามารถเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ลำดับถัดไปได้ แต่อุณหภูมิต้องไม่ต่ำกว่า 1,350 องศาเซลเซียส งานวิจัยทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่พิมพ์และอุณหภูมิน้ำโลหะจำนวน 16 ครั้ง โดยตัวอย่างรอบการทดสอบที่ 1 อุณหภูมิน้ำโลหะของแม่พิมพ์ที่ 1 อยู่ที่ 1,410 องศาเซลเซียส แม่พิมพ์ที่ 2 อยู่ที่ 1,404 องศาเซลเซียส แม่พิมพ์ที่ 3 อยู่ที่ 1,397 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิน้ำโลหะจะค่อยๆลดลง เมื่อเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ที่ 9 อยู่ที่ 1,353 องศาเซลเซียส ตามตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่พิมพ์และอุณหภูมิน้ำโลหะ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการเทน้ำโลหะที่แม่พิมพ์ที่ 1-9 อยู่ในค่ามาตรฐานที่ไม่ต่ำกว่า 1,350 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลแบบละเอียด พบว่าที่แม่พิมพ์ที่ 7-8 มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่ามาตรฐานจำนวน 1 ผลการทดสอบและแม่พิมพ์ที่ 9 มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่ามาตรฐานจำนวน 4 ผลการทดสอบดังภาพที่ 4.9 ดังนั้นถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่ไม่ต่ำกว่า 1,350 องศาเซลเซียส ควรกำหนดจำนวนแม่พิมพ์ที่ 6 แม่พิมพ์ต่อหนึ่งรอบเทน้ำเหล็ก

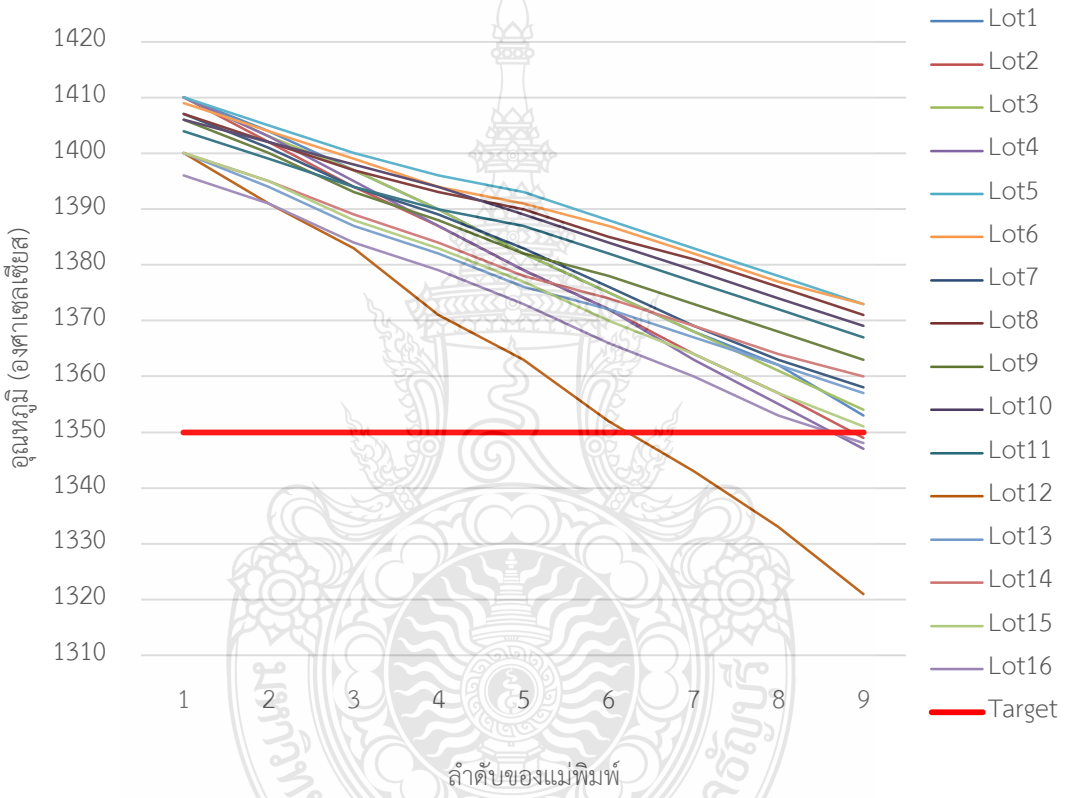
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการเทน้ำโลหะของแต่ละลำดับของแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส)

รอบการทดสอบ	ลำดับของแม่พิมพ์								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1410	1404	1397	1390	1382	1375	1368	1362	1353
2	1410	1402	1394	1387	1379	1372	1364	1357	1349*
3	1410	1403	1397	1390	1382	1375	1368	1361	1354
4	1410	1403	1395	1387	1379	1372	1363	1355	1347*
5	1410	1405	1400	1396	1393	1388	1383	1378	1373
6	1409	1404	1399	1394	1391	1387	1382	1377	1373
7	1407	1401	1394	1389	1383	1376	1369	1363	1358
8	1407	1402	1397	1393	1390	1385	1381	1376	1371
9	1406	1400	1393	1388	1382	1378	1373	1368	1363
10	1406	1402	1398	1394	1389	1384	1379	1374	1369
11	1404	1399	1394	1390	1387	1382	1377	1372	1367
12	1400	1391	1383	1371	1363	1352	1343*	1333*	1321*
13	1400	1394	1387	1382	1376	1372	1367	1362	1357
14	1400	1395	1389	1384	1378	1374	1369	1364	1360
15	1400	1395	1388	1383	1377	1370	1364	1357	1351

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการเทน้ำโลหะของแต่ละลำดับของแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส) (ต่อ)

รอบการทดสอบ	ลำดับของแม่พิมพ์								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	1396	1391	1384	1379	1373	1366	1360	1353	1348*
ค่าเฉลี่ย	1405.3	1399.4	1393.1	1387.3	1381.5	1375.5	1369.4	1363.3	1357.1

* หมายถึง อุณหภูมิของน้ำโลหะต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 1,350 องศาเซลเซียส



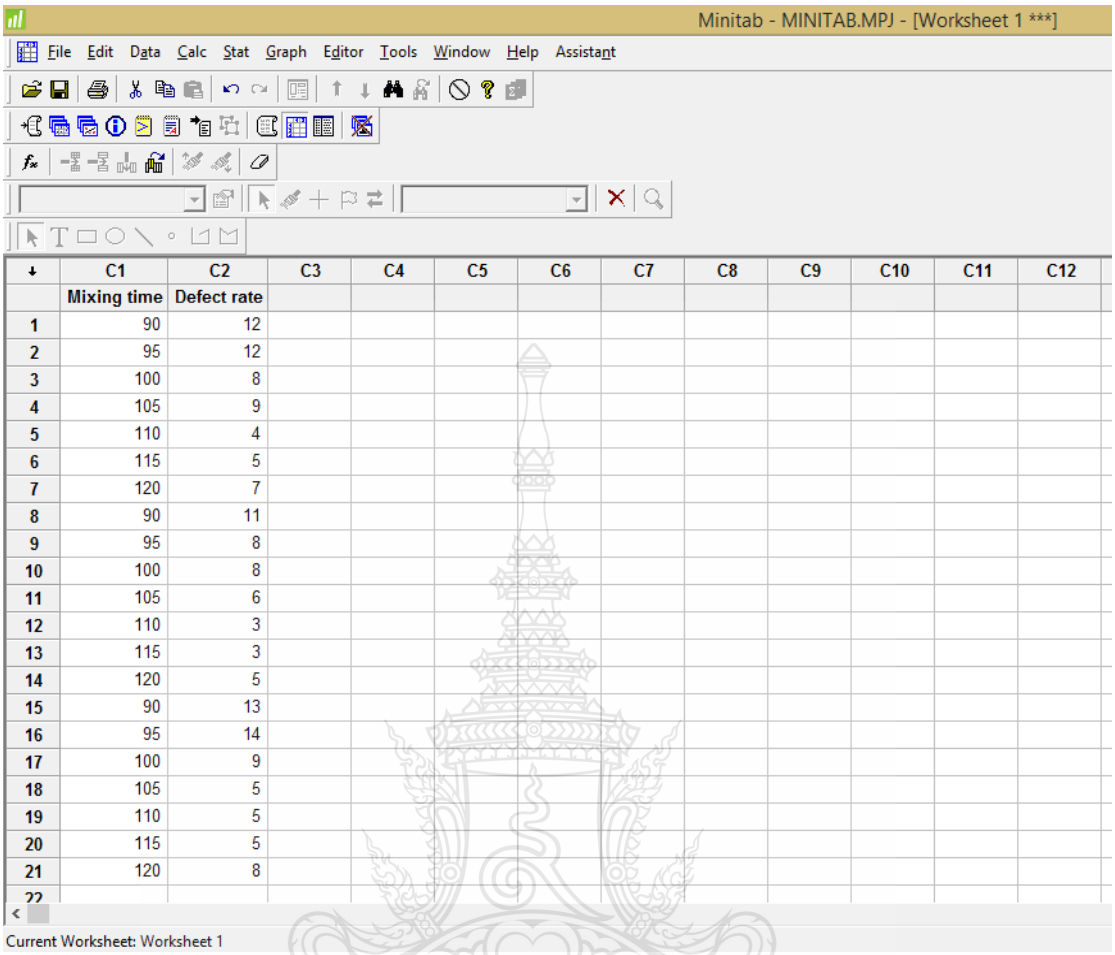
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่พิมพ์และอุณหภูมิน้ำโลหะ

4.5 การกำหนดเวลามาตรฐานการผสมทรายแบบ

การตรวจสอบเอกสารบันทึกการปฏิบัติงานก่อนปรับปรุงพบว่า แผนกแม่พิมพ์กำหนดเวลาการผสมทรายแบบที่ 100 วินาที ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมทรายแบบและสัดส่วนของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบ โดยทดสอบเวลาการผสมทรายแบบระหว่าง 90-120 วินาที โดยแบ่งช่วงเวลาห่างกันละ 5 วินาที จำนวน 7 ช่วงเวลา คือ 90, 95, 100, 105, 110, 115 และ 120 ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 4.2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) ดังภาพที่ 4.10 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังภาพที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว พบว่าค่า R-Sq (adj) = 74.10% แสดงว่าเวลาการผสมทรายแบบส่งผลต่อสัดส่วนของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบที่ร้อยละ 74.10 และค่า P-Value < 0.05 แสดงว่าเวลาการผสมทรายแบบที่แตกต่างกันส่งผลต่อสัดส่วนของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการวิเคราะห์ผลด้วยแผนภูมิ Confidence Interval พบว่าเวลาการผสมทรายแบบที่ 110 วินาที ส่งผลทำให้สัดส่วนของเสียน้อยที่สุด ดังภาพที่ 4.12 โดยสอดคล้องกับข้อมูลของแผนกควบคุมคุณภาพที่ระบุว่าเวลาการผสมทรายแบบที่น้อยเกินไป (เวลาการผสมทรายน้อยกว่า 100 วินาที) มักทำให้การผสมกันระหว่างเบนโทไนต์ น้ำ และสารปรุงแต่งยังเข้ากันไม่ดีพอ

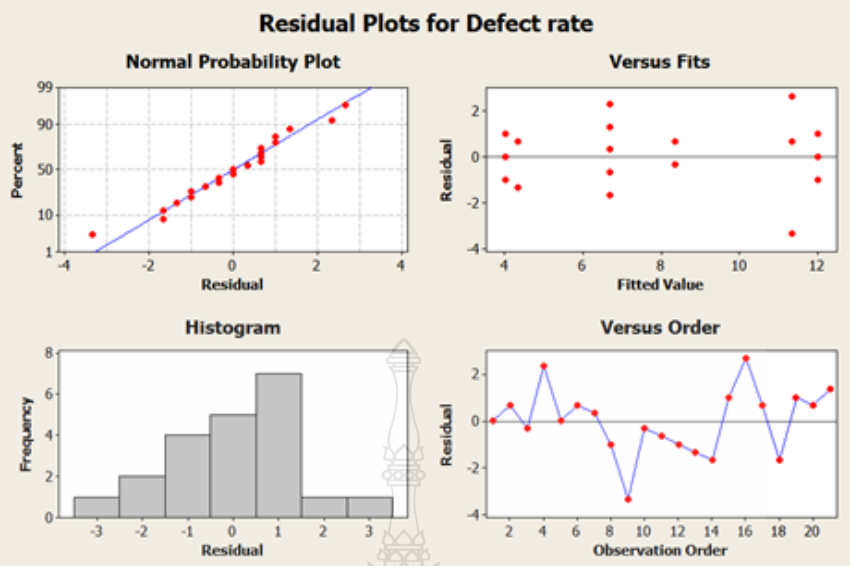
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมทรายแบบและสัดส่วนของเสีย

เวลาการผสมทรายแบบ (วินาที)	สัดส่วนของเสีย			ค่าเฉลี่ย
	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	
90	12	11	13	12.00
95	12	8	14	11.33
100	8	8	9	8.33
105	9	6	5	6.67
110	4	3	5	4.00
115	5	3	5	4.33
120	7	6	8	7.00



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Mixing time	Defect rate										
1	90	12										
2	95	12										
3	100	8										
4	105	9										
5	110	4										
6	115	5										
7	120	7										
8	90	11										
9	95	8										
10	100	8										
11	105	6										
12	110	3										
13	115	3										
14	120	5										
15	90	13										
16	95	14										
17	100	9										
18	105	5										
19	110	5										
20	115	5										
21	120	8										
22												

ภาพที่ 4.10 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมทรายแบบและสัดส่วนของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบ



ภาพที่ 4.11 ผลการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของข้อมูล

One-way ANOVA: Defect rate versus Mixing time

Source	DF	SS	MS	F	P
Mixing time	6	177.62	29.60	10.54	0.000
Error	14	39.33	2.81		
Total	20	216.95			

S = 1.676 R-Sq = 81.87% R-Sq(adj) = 74.10%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
90	3	12.000	1.000
95	3	11.333	3.055
100	3	8.333	0.577
105	3	6.667	2.082
110	3	4.000	1.000
115	3	4.333	1.155
120	3	6.667	1.528

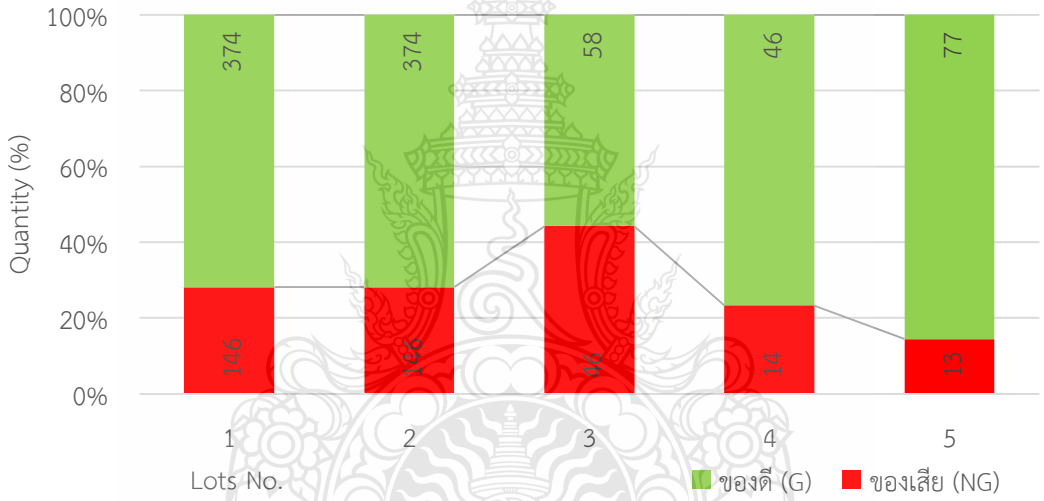
3.5 7.0 10.5 14.0

Pooled StDev = 1.676

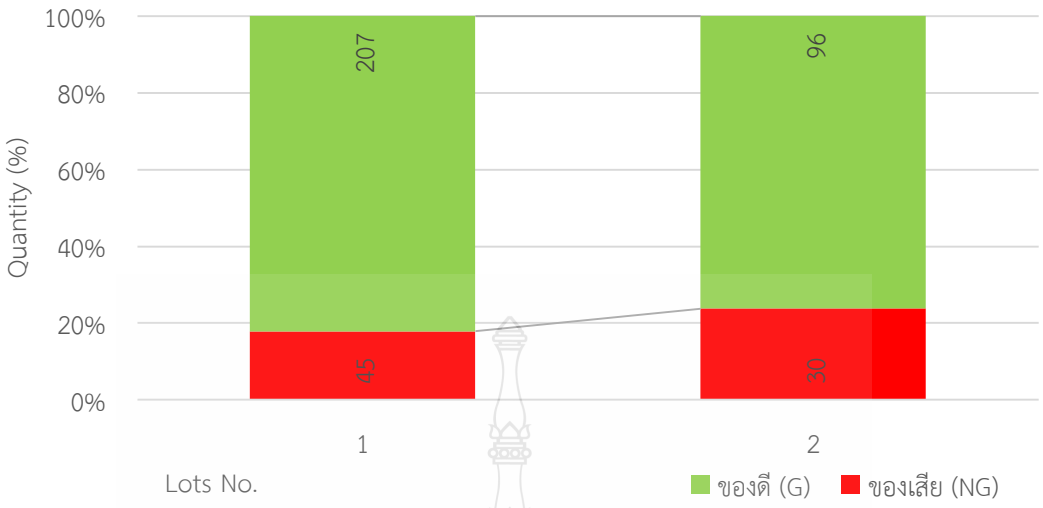
ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

4.6 การติดตามผล

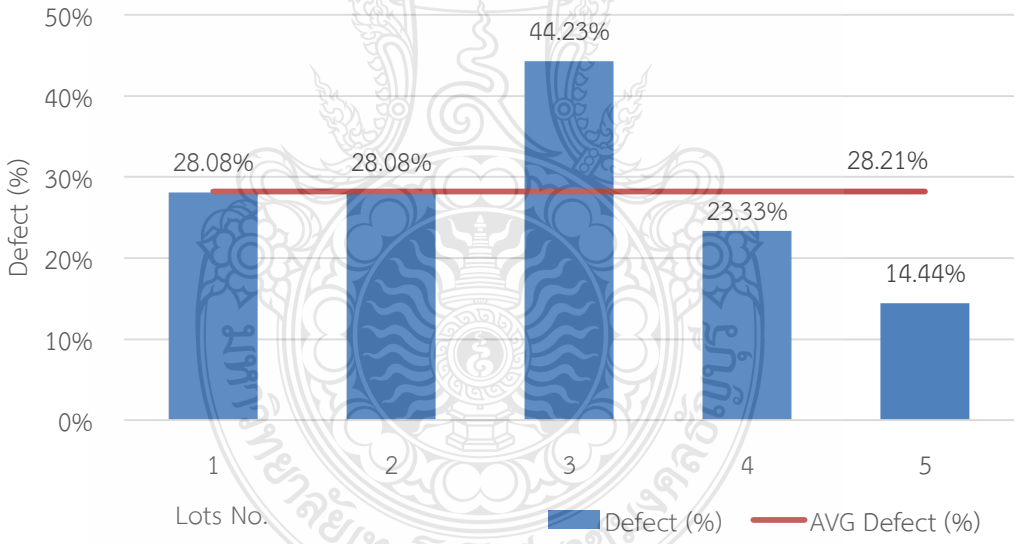
เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ทำให้เศรษฐกิจชะลอตัวส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ของบริษัทลดลง ผลการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 พบว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH ทำการผลิตจำนวน 1,294 ชิ้น จาก 5 ล็อตการผลิต โดยแบ่งเป็นของดีจำนวน 929 ชิ้น และของเสียจำนวน 365 ชิ้น ดังภาพที่ 4.13 และผลิตภัณฑ์ Steering RH ทำการผลิตจำนวน 378 ชิ้น จาก 2 ล็อตการผลิต โดยแบ่งเป็นของดีจำนวน 303 ชิ้นและของเสียจำนวน 75 ชิ้น ดังภาพที่ 4.14 โดยผลิตภัณฑ์ Steering LH มีสัดส่วนของเสียแต่ละล็อตการผลิต และสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 28.21 ดังภาพที่ 4.15 และผลิตภัณฑ์ Steering RH มีสัดส่วนของเสียแต่ละล็อตการผลิต และสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 19.84 ดังภาพที่ 4.16



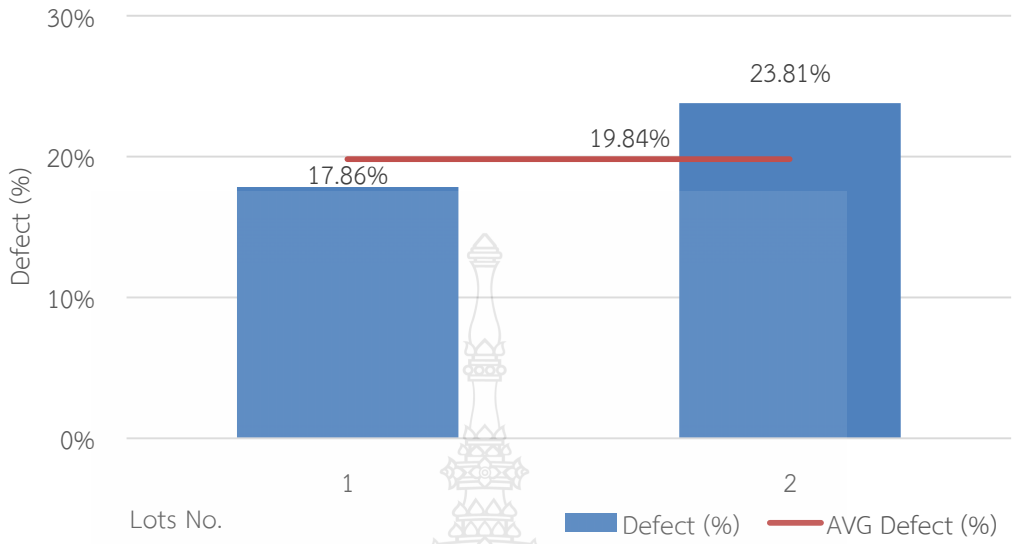
ภาพที่ 4.13 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง



ภาพที่ 4.14 ปริมาณระหว่างของดีและของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH หลังปรับปรุง



ภาพที่ 4.15 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง



ภาพที่ 4.16 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH หลังปรับปรุง

ผลการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ทำให้สามารถแบ่งประเภทของเสียจากลักษณะของเสีย และกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดของเสียตามตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง

ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย		จำนวน (ชิ้น)
1	MT	เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	Cold shut	58
2	MS	ผิวงานไม่เรียบ	Sand drop	14
3	MS	ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	Mold broken	36
4	MS	ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	Mold leak	241
5	MS	ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์	Mark lot NG	6
6	FS	การตกแต่งไม่สมบูรณ์	Over grinding	4
7	EN	ด้านในเนื้อชิ้นงานไม่เต็ม	Shrinkage	6
รวม				365

ตารางที่ 4.4 ประเภทและจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering RH หลังปรับปรุง

ลำดับ	แผนกผลิต	ประเภทของเสีย		จำนวน (ชิ้น)
1	MT	เหล็กเข้าไม่เต็มแบบ	Cold shut	19
2	MS	ผิวงานไม่เรียบ	Sand drop	32
3	MS	ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	Mold broken	8
4	MS	ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	Mold leak	11
5	FS	การตกแต่งไม่สมบูรณ์	Over grinding	1
6	EN	ด้านในเนื้อชิ้นงานไม่เต็ม	Shrinkage	3
7	FS	ชิ้นงานมีรอยยุบ	Dent	1
รวม				75

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

บริษัทกรณีศึกษาพบของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 คิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 41.45 และ 42.17 (ตามลำดับ) โดยแบ่งประเภทของเสียออกเป็น 14 และ 17 ประเภท (ตามลำดับ) เมื่อนำหลักการพาเรโตมาคัดเลือกประเภทของเสียที่มีปริมาณสะสมร้อยละ 80 ของปริมาณของเสียทั้งหมด พบว่าสามารถคัดเลือกกลุ่มของเสียที่มีปริมาณสูงคือ 1) ชิ้นงานไม่เต็มแบบ 2) ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา 3) ชิ้นงานผิดรูป 4) ผิวงานไม่เรียบ 5) ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ร่วมกับเทคนิค 3 Gen คือ GENBA GENBUTSU GENJITSU แล้วกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา แล้วทำการสรุปผลการวิจัยคือ

5.1.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH คือ 1) การออกแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ในแม่พิมพ์ ไม่ควรออกแบบให้แม่พิมพ์รับน้ำหนักผลิตภัณฑ์เกินค่ามาตรฐานการรับน้ำหนักของแม่พิมพ์ และไม่ควรออกแบบการจัดวางผลิตภัณฑ์ ให้ระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร เพราะจะส่งผลทำให้แม่พิมพ์แตก 2) ความเร็วของการเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ควรเทน้ำโลหะด้วยความเร็วที่คงที่ และไม่เร็วเกินค่ามาตรฐานกำหนด เพราะจะส่งผลทำให้แม่พิมพ์แตก 3) การเทน้ำโลหะเข้าแม่พิมพ์จะเกิดแก๊ส และแก๊สจะลอยตัวขึ้นด้านบน เมื่อผลิตภัณฑ์มีโลโก้ ตัวอักษร หรือล็อตการผลิตอยู่ในทางผ่านของแก๊ส จะส่งผลทำให้โลโก้ ตัวอักษร หรือล็อตการผลิตของผลิตภัณฑ์ไม่สมบูรณ์ 4) การควบคุมอุณหภูมิน้ำโลหะขณะเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลทำให้การเย็นตัวของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ และทำให้ผลิตภัณฑ์ผิดรูปร่าง 5) เวลาการผสมทรายแบบ ส่งผลต่อความเรียบของผิวผลิตภัณฑ์ และกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงาน

5.1.2 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

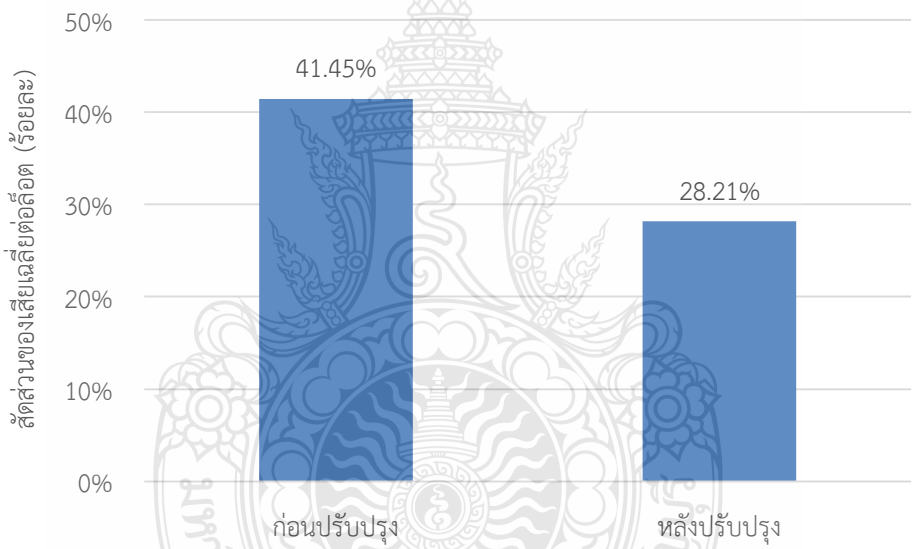
การปรับปรุงกระบวนการผลิตระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2563 เป็นเวลา 4 เดือน สามารถลดสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH จากร้อยละ 41.45 เหลือร้อยละ 28.21 หรือลดลงร้อยละ 31.94 ดังตารางที่ 5.1 และภาพที่ 5.1 และสามารถลดสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering RH จากร้อยละ 42.17 เหลือร้อยละ 19.84 หรือลดลงร้อยละ 52.95 ดังตารางที่ 5.2 และภาพที่ 5.2 อีกทั้งผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้สัดส่วนมูลค่าของเสียเทียบกับมูลค่าการขายลดลงอยู่ที่ร้อยละ 5.51 ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.1 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH

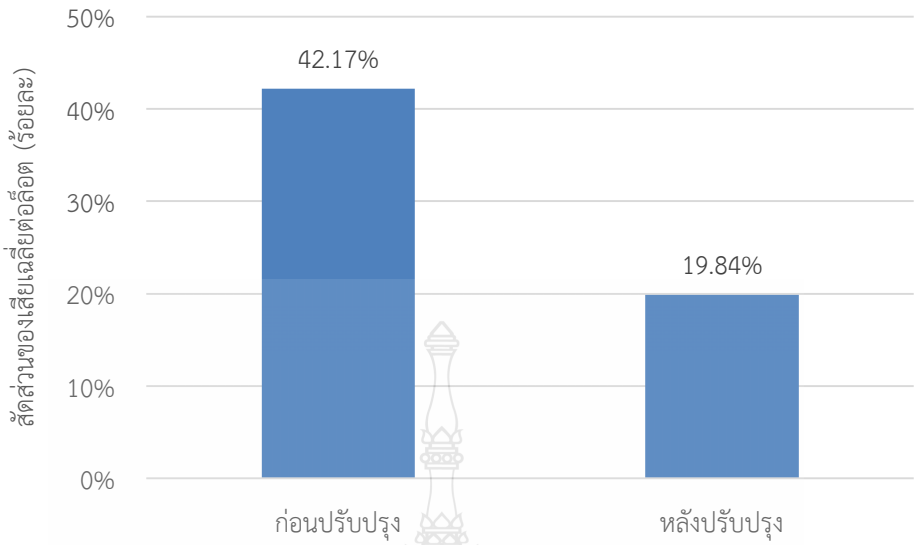
รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนล็อตการผลิต (ล็อต)	16	5
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อต (ร้อยละ)	41.45	28.21
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อต ลดลง (ร้อยละ)	-	31.94

ตารางที่ 5.2 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering RH

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนล็อตการผลิต (ล็อต)	22	2
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อต (ร้อยละ)	42.17	19.84
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อต ลดลง (ร้อยละ)	-	52.95



ภาพที่ 5.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH ก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 5.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering RH ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลมูลค่าของเสียและมูลค่าการขาย ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563

เดือน	มูลค่าของเสีย (บาท)	มูลค่าการขาย (บาท)	สัดส่วนมูลค่าของเสีย (%)
พฤษภาคม	1,525,626.30	24,125,635.96	6.32
มิถุนายน	1,669,588.72	26,156,855.23	6.38
กรกฎาคม	1,425,365.01	29,336,578.20	4.86
สิงหาคม	1,345,647.71	30,002,122.55	4.49
เฉลี่ย	1,491,556.94	27,405,297.99	5.51

5.2 การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่องการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH และ Steering RH ทำให้พบว่าของเสียเกิดขึ้นในทุกกระบวนการผลิตของบริษัท ตั้งแต่แผนกวิศวกรรม แผนกแม่พิมพ์ แผนกไส้แบบ แผนกหลอมโลหะ และแผนกตกแต่งชิ้นงาน แต่เมื่อนำหลักการพาเรโตมาคัดเลือกประเภทของเสียที่มีปริมาณสูง ทำให้ทราบว่าแผนกแม่พิมพ์ และแผนกหลอมโลหะ เกิดปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตสูง (ปริมาณสะสมร้อยละ 80 ของปริมาณของเสียทั้งหมด) เมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา พบว่าปัญหาการออกแบบแม่พิมพ์อุณหภูมิเทน้ำโลหะ ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยสอดคล้องกับมงคล แก้วนพรัตน์ [20] ที่ทำการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจากแผนภูมิก้างปลา และตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน พบว่าปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของการ

เกิดรูพรุนได้แก่ อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และการออกแบบแม่พิมพ์โลหะ ผลการทดลองด้วยโปรแกรมพบว่าเมื่อทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลง แต่ผลการวิจัยพบเพิ่มเติมว่า เวลาการผสมทรายสำหรับการสร้างแบบหล่อทรายก็ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานหล่อโลหะด้วย และสอดคล้องกับทฤษฎีการหล่อโลหะ [5] ที่ระบุข้อบกพร่องเกิดขึ้นขณะป้อนเติมแบบหล่อของปัญหาชิ้นงานไม่เต็มแบบว่าเกิดจากการเทน้ำโลหะจากเบ้าเทเร็วเกินไป

5.3 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

การทำงานวิจัยนี้พบปัญหาและข้อจำกัดบางประการระหว่างดำเนินการทำวิจัย โดยสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่นำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต ดังนี้คือ การปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานใหม่ โดยกำหนดระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์ที่ 50 มิลลิเมตร แม้ว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา เนื่องจากแบบทรายแตกได้ แต่การออกแบบดังกล่าวทำให้ปริมาณการผลิตลดลงจาก 3 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ เหลือ 2 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ ดังนั้นการวิจัยในอนาคตอาจใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงานมาช่วยในการวิเคราะห์การอกแบบดังกล่าว เพื่อให้สามารถออกแบบการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ให้ได้ปริมาณไม่แตกต่างจากเดิม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
KU.SRC.
The 4th KU SRC
Annual Conference
28 สิงหาคม 2563
ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผู้ร่วมจัดงาน
PIM
DAT
Digital Academy Thailand
AIS
The 4th KU SRC Annual Conference

ID094	Greenhouse Gas Emission from tourist traveling in Koh Larn, Pattaya City, Chonburi Province	238
ID102	Low-cost Langendorff perfusion system for rat cardiomyocyte isolation	244

หัวข้อที่ 3 การเงินและบัญชี (Finance and Accounting) **หน้า**

ID012	Effects of the Internal Control System in Accounting and Finance on the Performance Efficiency of Accountants in the Service Industry in the Central Region	248
ID049	Desirable characteristics of an accountant affecting the success of an accountant's work in Bangkok and its vicinity	259
ID085	The Effect of Executive Compensation on the Relationship between Discretionary Accruals Earnings Management and Firm Performance	268

หัวข้อที่ 4 วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) **หน้า**

ID001	An experimental study of auto-ignition of cooking oil by an induction cooker	277
ID010	Hull Shape Design of an Autonomous Underwater Glider	287
ID013	Analysis of Capacity of Means of Egress using Evacuation Software, case study Museum Building	292
ID016	Production Line Efficiency and Optimal Allocation Operators by Simulation Model A Case Study Oil Filter Automotive Manufacturer	300
ID017	Study of guidelines for studying waste in developed countries to be a guideline for the development of waste management systems in Thailand	311
ID020	Performance-Based Analysis for Life Safety using ALOHA Software ; Case Study Assembly Auto Parts Manufacturing Plant	318
ID028	An Experimentel Study of Piloted Ignition and Burning Behavior of Firefighter Suit	300
ID031	Expiration platelet count: Blood Bank and Transfusion Medicine, Songklanagarind Hospital	338

ID038	A study of the SRG control method using dSPACE controller	346
ID041	Statistical Downscaling method for monthly Rainfall under Climate Change In the Eastern Economic Corridor	353
ID051	Modeling for Liquefied Petroleum Gas Leaks in Three Dimensions by Computational Fluid Dynamics Software to Determine the Safety Distance	361
ID055	Modeling Aromatics Production from Mixtures of Butanes and Butenes with Chemical Equilibria	368
ID059	The Effect of Water Flow Rate on Heat Transfer Efficiency for Closed Cooling Tower	378
ID062	A Study of Rail Weld Inspection Using Acoustic Emission	386
ID064	An Autonomous Vehicle Controlled using Vision-Based Approach	393
ID070	Defects Reduction in Engine Bracket Steering Parts Production Process: A Case Study Of Metal Casting Company	399
ID071	Fire Evacuation Simulation of Ball Joint Part Factory	406
ID072	Long Pepper Drying Using a Combined Hot Air and Infrared Radiation	413
ID076	A Study of Water Footprint of Rice in Nakhon Si Thammarat Operation and Maintenance Project	419
ID078	Simulation of Fire Evacuation using Pathfinder Program : A Case Study of Child Development Center	426
ID084	Fuzzy Supervisory Control and Implementation of a Flexible-Joint SCARA Robot	433
ID086	The development of telerounding robot	441
ID087	A Development of Mathematical Model for Truck Transportation Scheduling to Optimize Truck Tum Driver and Truck Utilization	447
ID088	Empirical Model of Stress Distribution in Meter-gauge Ballasted Railroad Track	453
ID092	Fire Risk Assessment: A Case Study of Building Decorated by Aluminum Composite	464

ID070

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ กรณีศึกษาบริษัทหล่อหลอมโลหะ

DEFECTS REDUCTION IN ENGINE BRACKET STEERING PARTS PRODUCTION PROCESS: A CASE STUDY OF METAL CASTING COMPANY

วัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์[1*] และ ระพี กาญจนะ[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
*E-mail: vatcharoot_c@mail.rmutt.ac.th

Vatcharoot Chevaviriyanon[1*] and Rapee Kanchana[1]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
*E-mail: vatcharoot_c@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ของบริษัทกรณีศึกษาที่ทำการผลิตชิ้นงานเหล็กหล่อและอลูมิเนียมหล่อโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH โดยเป้าหมายของบริษัทที่จะลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากทำการศึกษาข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตเป็นเวลา 6 เดือน ตามด้วยการจำแนกและคัดเลือกประเภทของเสียที่จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยหลักการของพาเรโต จากนั้นประยุกต์ใช้เทคนิค Why-Why analysis ร่วมกับเทคนิค 3 GEN เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาหลักและดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามต้นเหตุของปัญหาด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าอัตราส่วนของของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH ลดลงจากร้อยละ 41.42 เหลือร้อยละ 30.93 เท่ากับมีอัตราการลดลงที่ร้อยละ 25.33

คำหลัก ลดของเสีย แท่นยึดเครื่องยนต์ หล่อหลอมโลหะ

Abstract

This research aims to reduce the defects in engine bracket steering parts process of a case company as producing steel and aluminum casting parts, particularly, for a group product of Steering LH with the company's target at least 10% reduction rate. The research methodology began with studying a historical data of defects in production process for 6 months, then classifying and selecting the type of defects to be solved based on Pareto principle. After that the integration of Why-Why analysis and 3 GEN techniques were applied to investigate the root causes of main problem and IE techniques were also consequently used to improve the production process. As a result of process improvement, it illustrated that the defect rate of a group product of Steering LH was decreased from 41.42% to 30.93% equals to 25.33% reduction rate.

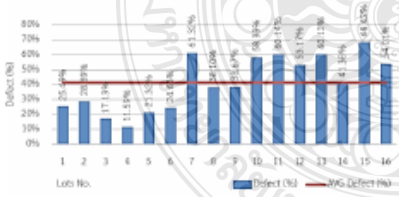
Keywords: defects reduction, bracket steering parts, steel casting

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาประกอบธุรกิจผลิตชิ้นงานเหล็กหล่อ (Steel Casting Parts) และอลูมิเนียมหล่อ (Aluminum Casting Parts) ให้กับหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิ อุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนงานเหล็กหล่อและอลูมิเนียมหล่อ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ กระบวนการผลิตของบริษัทประกอบด้วย

5 ส่วนงานหลักคือ แผนกวิศวกรรม (Engineering) ทำหน้าที่ออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบไส้แบบ และกำหนดขั้นตอนการผลิตให้กับแผนกผลิต แผนกแม่พิมพ์ (Molding) ทำหน้าที่ผลิตแบบทรายสำหรับสร้างแม่พิมพ์ แผนกไส้แบบ (Core Marking) ทำหน้าที่ผลิตไส้แบบของแม่พิมพ์ แผนกหลอมโลหะ (Melting) ทำหน้าที่หลอมเหล็กหรืออลูมิเนียมให้เป็นน้ำเหล็กหรืออลูมิเนียม และแผนกตกแต่งชิ้นงาน (Finishing) ทำหน้าที่เจียรตกแต่งชิ้นงานและเก็บชิ้นงานหลังจากการหล่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาปัญหาในกระบวนการผลิตที่ส่งผลทำให้เกิดของเสียต่อผลิตภัณฑ์ Steering LH และหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์หลักที่บริษัทผลิตให้กับลูกค้ากลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นชิ้นส่วนแท่นยึดเครื่องยนต์ทำหน้าที่ยึดจับระหว่างเครื่องยนต์กับตัวถังรถยนต์ ผลิตจากเหล็กหล่อเทาเกรด FCD450 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแผนการผลิตระยะยาวแบบต่อเนื่อง และเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของบริษัทที่อยู่ในช่วงการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตก่อนเข้าสู่ระดับการผลิตปริมาณมาก เมื่อทำการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Steering LH ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 พบว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH ทำการผลิตจำนวน 3,404 ชิ้น จาก 16 ล็อตการผลิต และตรวจพบของเสียจากกระบวนการผลิตจำนวน 1,411 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ร้อยละ 41.42 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH

2. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพัฒตรา เกษราพงศ์, ประภาพรรณ เกษราพงศ์ และอวยชัย สลัดทุกข์ [1] นำเสนอวิธีการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ (IE Techniques) โดยทำการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและเลือก 3 ปัญหาหลักตามหลักการของพาเรโต และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียโดยใช้ Why-Why Analysis และปรับปรุงแก้ไขตามสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย

ณิชกุล ไชยศร, มาโนช ทองเจือ, บรรรหาญ ลิลา และฤภูวัลย์ จันทรสา [2] นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แบบอัตโนมัติ โดยการประยุกต์แนวคิด 3 GEN ได้แก่ Genba, Genbutsu, Genjitsu และเทคนิค ECRS งานวิจัยนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์จับชิ้นงานแม่เหล็กเพื่อใช้ในการจับยึดชิ้นงานขนาดเล็ก ผลจากการประยุกต์ใช้งานพบว่าอุปกรณ์จับชิ้นงานแม่เหล็กที่พัฒนาขึ้นสามารถจับชิ้นงานขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 313 ชิ้นต่อชั่วโมง เป็น 418 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.55 และสามารถลดพนักงานในขั้นตอนนี้ลงจาก 6 คน เหลือ 3 คน

มงคล แก้วนพรัตน์ [3] ทำการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจากแผนภูมิก้างปลา และตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน พบว่าปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของการเกิดรูพรุนได้แก่ อุณหภูมิแม่พิมพ์โลหะ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และการออกแบบแม่พิมพ์โลหะ ผลการทดลองด้วยโปรแกรมพบว่าเมื่อทางเดินน้ำโลหะมีขนาดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณรูพรุนในชิ้นงานลดลง

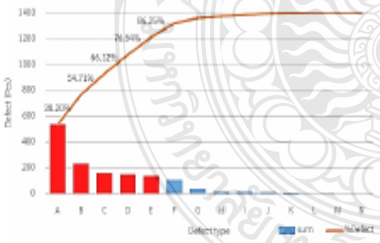
เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ และชาญณรงค์ สายแก้ว [4] ทำการศึกษาหาอัตราส่วนผสมแบบหล่อทรายที่เหมาะสมที่สุดในการนำทรายที่ผ่านการใช้งานแล้ว และวัสดุประสานอื่นๆ มาเป็นส่วนผสม เพื่อให้สมบัติของแบบหล่อทรายตรงตามความต้องการที่กำหนด และสมบัติเชิงกลของเหล็กหล่อตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ทรายที่ผ่านการใช้งานแล้วครั้งที่ 1 เบนโทไนต์ และน้ำ ว่าส่งผลต่อความแข็งแรงอัดในสภาพเปียกความสามารถในการปล่อยซึมอากาศและต้นทุนวัตถุดิบ โดยวิธีออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง

การทบทวนงานวิจัยพบว่าเทคนิค 3 Gen เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ตามหลักการของความจริงและเมื่อนำมาใช้ร่วมกับเทคนิค Why-Why Analysis จะทำให้การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาเป็นไปอย่างถูกต้องไม่เอนเอียง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัจจุบัน

การวิเคราะห์ข้อมูลสัดส่วนของเสียเป็นระยะเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 สามารถแบ่งประเภทของเสียของผลิตภัณฑ์ Steering LH ออกเป็น 14 ประเภท และเมื่อนำหลักการพาเรโต (Pareto Diagram) มาคัดเลือกประเภทของเสียที่มีปริมาณสะสมร้อยละ 80 ของปริมาณของเสียทั้งหมดพบว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH



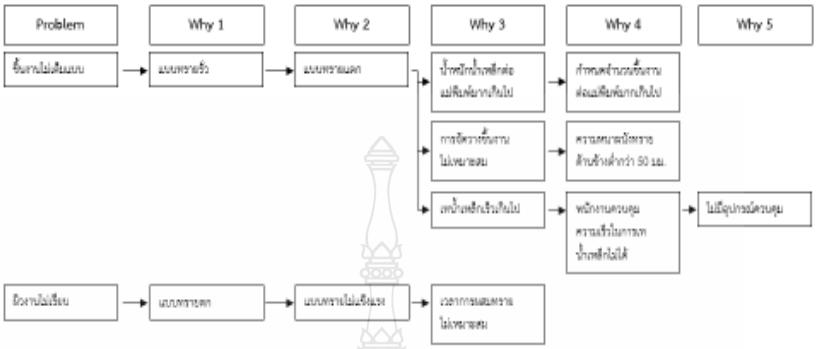
รูปที่ 2 ประเภทของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH

มี 5 ประเภทของเสียที่มีปริมาณของเสียสะสมที่ร้อยละ 86.25 จากทั้งหมด 14 ประเภทของเสียดังรูปที่ 2 โดยประเภทของเสียทั้ง 5 ประเภทประกอบด้วย A) ชิ้นงานไม่เต็มแบบ B) ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา C) ชิ้นงานผิดรูป D) ผิวงานไม่เรียบ E) ตัวเลขอักษรไม่สมบูรณ์

3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาทำลักษณะกิจกรรมกลุ่มย่อย (Small Group Activity) เป็นการรวมกลุ่มคนที่มีส่วนที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยผู้จัดการแผนกผลิต หัวหน้าแผนกผลิต พนักงานแผนกผลิต และผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ โดยการนำเทคนิค Why-Why Analysis และเทคนิค 3 Gen (GENBA, GENBUTSU, GENJITSU) มาร่วมวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาดังกล่าวดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis



รูปที่ 3 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริงของปัญหาทั้ง 5 ประเภทของเสีย สามารถสรุปสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาดังตารางที่ 1 แต่เนื่องจากบางสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาส่งผลต่อปัญหามากกว่า 1 ปัญหา ทำให้สามารถสรุปสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาทั้ง 5 ประเภท

ประเภทของปัญหา	สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา
1. ชิ้นงานมีเนื้อเกินออกมา	1. กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป
	2. ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มิลลิเมตร
	3. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วการเทน้ำเหล็ก
2. ตัวอักษรไม่สมบูรณ์	1. กำหนดตำแหน่งตัวอักษรไม่เหมาะสม
3. ชิ้นงานผิดรูป	1. การเทน้ำเหล็กรอบละหลายแม่พิมพ์
4. ชิ้นงานไม่เต็มแบบ	1. กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป
	2. ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มม.
	3. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วการเทน้ำเหล็ก
5. ผิวงานไม่เรียบ	1. เวลาการผสมทรายแบบไม่เหมาะสม

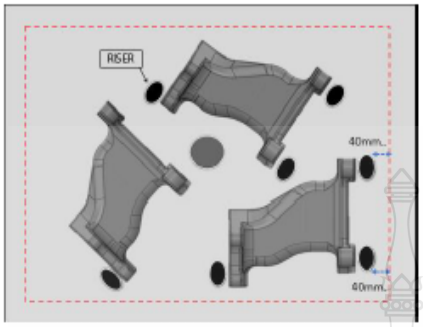
ตารางที่ 2 สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา

สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา	แนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น
1. กำหนดจำนวนชิ้นงานต่อแม่พิมพ์มากเกินไป	- ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ใหม่
2. ความหนาผนังทรายด้านข้างต่ำกว่า 50 มม.	
3. ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมความเร็วการเทน้ำเหล็ก	- กำหนดวิธีการ/จัดหาเครื่องมือสำหรับควบคุมความเร็วในการเทน้ำเหล็ก
4. กำหนดตำแหน่งตัวอักษรไม่เหมาะสม	- ปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่
5. การเทน้ำเหล็กรอบละหลายแม่พิมพ์	- กำหนดจำนวนแม่พิมพ์ต่อ 1 รอบการเทน้ำเหล็ก
6. เวลาการผสมทรายแบบไม่เหมาะสม	- กำหนดเวลามาตรฐานของการผสมทรายแบบ

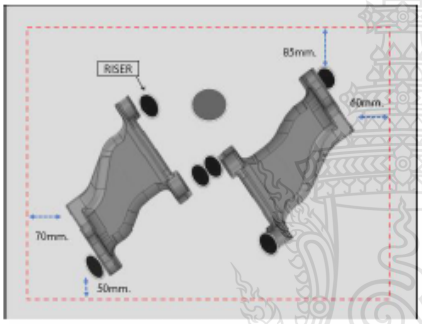
3.3 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

3.3.1 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดวางชิ้นงาน

การตรวจสอบตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุงพบว่า แผนกวิศวกรรมออกแบบการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์จำนวน 3 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ และระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์เพียง 40 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4 ทำให้แม่พิมพ์ต้องรับน้ำหนักมากถึง 58 กิโลกรัม ส่งผลทำให้แม่พิมพ์ (แบบทราย) แตกได้ โดยค่ามาตรฐานการรับน้ำหนักของแม่พิมพ์ดังกล่าวอยู่ที่ 50 กิโลกรัม ดังนั้นงานวิจัยทำการออกแบบการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ใหม่โดยอ้างอิงค่ามาตรฐานการรับน้ำหนัก และค่ามาตรฐานของระยะขอบของชิ้นงานกับขอบแม่พิมพ์ให้ไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร คือต้องทำปรับลดจำนวนชิ้นงานให้เหลือ 2 ชิ้นงานต่อแม่พิมพ์ ทำให้การรับน้ำหนักของแม่พิมพ์เหลือเพียง 42 กิโลกรัม และปรับตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ให้เหมาะสม โดยระยะขอบของชิ้นงานอยู่ห่างจากขอบแม่พิมพ์น้อยที่สุดคือ 50 มิลลิเมตรดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ก่อนปรับปรุง



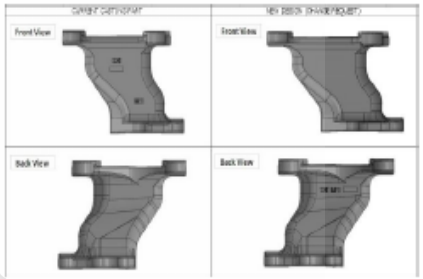
รูปที่ 5 ตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์หลังปรับปรุง

3.3.2 การเทน้ำเหล็กด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ

แผนกหลอมโลหะกำหนดให้การเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์กระทำโดยพนักงานทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วการเทน้ำเหล็กลงแม่พิมพ์ได้ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการทดสอบโดยการนำเครื่องเทน้ำเหล็กแบบอัตโนมัติ (Auto Pouring Machine) ที่สามารถกำหนดความเร็วการเทน้ำเหล็กระหว่าง 0-20 กิโลกรัมต่อวินาที จากสายการผลิตอื่นมาทำการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่าสามารถปรับความเร็วและควบคุมความเร็วให้คงที่ได้

3.3.3 การปรับเปลี่ยนตำแหน่งตัวอักษรใหม่

การตรวจสอบตำแหน่งการจัดวางตัวอักษรของชิ้นงานก่อนปรับปรุงพบว่า ตำแหน่งตัวอักษรวางอยู่ด้านหน้าของชิ้นงานดังรูปที่ 6 (ก) และตำแหน่งการจัดวางชิ้นงานในแม่พิมพ์จะกำหนดให้ด้านหน้าของชิ้นงานอยู่ด้านบนของแม่พิมพ์ เมื่อทำการเทน้ำเหล็กเข้าแม่พิมพ์ แก๊สที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจะลอยตัวขึ้นไปกระทบกับตัวอักษร ส่งผลทำให้ตัวอักษรไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการออกแบบการจัดวางตัวอักษรของชิ้นงานใหม่ทำโดยปรับตำแหน่งการจัดวางตัวอักษรไปอยู่ด้านหลังของชิ้นงานดังรูปที่ 6 (ข) เพื่อป้องกันแก๊สที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลอยตัวขึ้นไปกระทบกับตัวอักษร

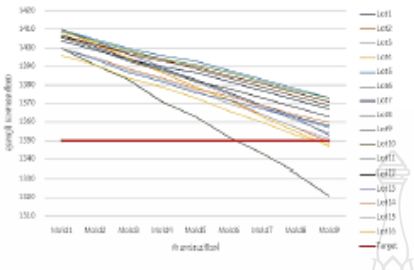


(ก) (ข)

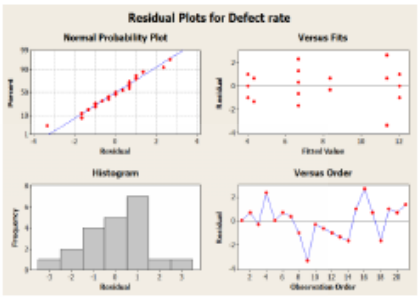
รูปที่ 6 ตำแหน่งการจัดวางตัวอักษรของชิ้นงาน

3.3.4 การกำหนดจำนวนแม่พิมพ์ต่อรอบเทน้ำเหล็ก

กระบวนการหลอมโลหะของผลิตภัณฑ์ Steering LH เริ่มต้นโดยการหลอมเหล็กหล่อเทาเกรด FCD450 ในเตาหลอมขนาด 3,000 กิโลกรัม แล้วเทน้ำโลหะเข้าเบ้ารับน้ำเหล็ก (Ladle) ขนาด 400 กิโลกรัม และทำการเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ โดยสามารถทำการเทน้ำโลหะได้รอบละ 9 แม่พิมพ์ (แม่พิมพ์ 1 ชุดใช้น้ำโลหะ 42 กิโลกรัม) โดยค่ามาตรฐานของอุณหภูมิก่อนเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์กำหนดที่ 1,400 ±10 องศาเซลเซียส และสามารถเทน้ำโลหะลงแม่พิมพ์ลำดับถัดไปได้แต่อุณหภูมิต้องไม่ต่ำกว่า 1,350 องศาเซลเซียส งานวิจัยทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่พิมพ์และอุณหภูมิน้ำโลหะจำนวน 16 ครั้ง พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการเทน้ำโลหะที่แม่พิมพ์ที่ 1-9 อยู่ในค่ามาตรฐานที่ไม่ต่ำกว่า 1,350 องศาเซลเซียส แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลแบบละเอียดพบว่าที่แม่พิมพ์ที่ 7-8 มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่ามาตรฐานจำนวน 1 ผลการทดสอบและแม่พิมพ์ที่ 9 มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่ามาตรฐานจำนวน 4 ผลการทดสอบดังรูปที่ 7 ดังนั้นถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในค่ามาตรฐานควรกำหนดจำนวนแม่พิมพ์ที่ 6 แม่พิมพ์ต่อหนึ่งรอบเทน้ำเหล็ก



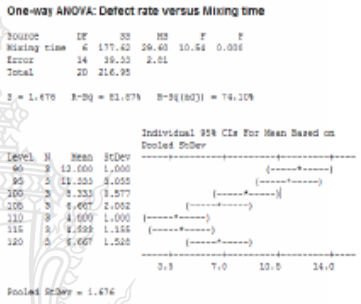
รูปที่ 7 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแม่พิมพ์และอุณหภูมิน้ำโลหะ



รูปที่ 8 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

3.3.5 การกำหนดเวลามาตรฐานการผสมทรายแบบ

การตรวจสอบเอกสารบันทึกการปฏิบัติงานก่อนปรับปรุงพบว่า แผนกแม่พิมพ์กำหนดเวลาการผสมทรายแบบที่ 100 วินาที ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการผสมทรายแบบและสัดส่วนของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบ โดยทดสอบเวลาการผสมทรายแบบระหว่าง 90-120 วินาที โดยแบ่งช่วงเวลาห่างกันละ 5 วินาที จำนวน 7 ช่วงเวลา และทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) ผลการตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของข้อมูลพบว่าข้อมูลมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนดังรูปที่ 8 และค่า P-Value < 0.05 แสดงว่าเวลาการผสมทรายแบบที่แตกต่างกันส่งผลต่อสัดส่วนของเสียประเภทผิวงานไม่เรียบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการวิเคราะห์ผลด้วยแผนภูมิ Confidence Interval พบว่าเวลาการผสมทรายแบบที่ 105, 110, 115, และ 120 วินาที ดังรูปที่ 9 ส่งผลต่อสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดใกล้เคียงกันแต่จากข้อมูลและประสบการณ์ของหัวหน้าแผนกแม่พิมพ์นำเสนอว่าควรกำหนดเวลาการผสมทรายแบบที่ 110 วินาที เนื่องจากการใช้เวลาการผสมทรายแบบมากเกินไปจะส่งผลต่อเวลาการทำงานด้วย



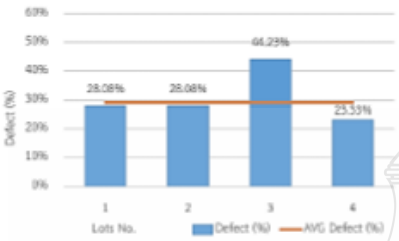
รูปที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

4. ผลการวิจัย

ผลการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ Steering LH ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2563 พบว่าผลิตภัณฑ์ Steering LH มีปริมาณการผลิตเพียง 4 ล็อตการผลิต ทั้งนี้เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ทำให้เศรษฐกิจชะลอตัวส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตลดลง โดยยอดการผลิตและปริมาณของเสียของแต่ละล็อตแสดงดังตารางที่ 3 โดยมีสัดส่วนของเสียของแต่ละล็อตแสดงดังรูปที่ 10

ตารางที่ 3 ยอดการผลิตและปริมาณของเสียของ Steering LH หลังปรับปรุง

ล็อตที่	ยอดการผลิต (ชิ้น)	ปริมาณของเสีย (ชิ้น)	อัตราส่วนของเสีย (%)
1	520	146	28.08
2	520	146	28.08
3	104	46	44.23
4	60	14	23.33
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อต			30.93



รูปที่ 10 สัดส่วนของเสียผลิตภัณฑ์ Steering LH หลังปรับปรุง

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียในกลุ่มผลิตภัณฑ์ Steering LH จากร้อยละ 41.42 เหลือร้อยละ 30.93 หรือลดลงร้อยละ 25.33 ดังตารางที่ 4 โดยสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิของการเทน้ำโลหะส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานหล่อโลหะ [3] แต่ผลการวิจัยพบว่าเวลาการผสมทรายสำหรับการสร้างแบบหล่อทรายส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานหล่อโลหะด้วย

ตารางที่ 4 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Steering LH

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนล็อตการผลิต (ล็อต)	16	4
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อต (ร้อยละ)	41.42	30.93
สัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อล็อตลดลง (ร้อยละ)	-	25.33

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี ทำให้การทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงและบรรลุวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

[1] สุพัฒตรา เกษราพงศ์, ประภาพรรณ เกษราพงศ์ และอวยชัย สลัดทุกข์. 2555. การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์, น. 951-958. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2555 มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยศรีปทุม, เพชรบุรี.

[2] ณิชกุล ไชยศร, มาโนช ทองเจือ, บรรรหาญ ลิลา และฤภูวัลย์ จันทรสา. 2555. การปรับปรุงอัตราการผลิตของสายการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยด้วยจับชิ้นงานแบบแม่เหล็ก, น. 328-332. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555 มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยศรีปทุม, เพชรบุรี.

[3] มงคล แก้วนพรัตน์. 2555. การลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] เสริมศักดิ์ เวียงวิเศษ และ ชาญณรงค์ สายแก้ว. 2554. การปรับปรุงคุณภาพเหล็กหล่อด้วยการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของแบบหล่อทราย, น. 377-388. โครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ–สกุล	นายวัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์
วัน เดือน ปีเกิด	28 เมษายน 2530
ที่อยู่	เลขที่ 8 ถนนราษฎร์บำรุง ตำบลท่าข้าม อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ เมื่อ พ.ศ. 2553
เบอร์โทรศัพท์	086-783-7055
อีเมล์	vatcharoot_c@mail.rmutt.ac.th